ESCOLA DE NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO
DOUTORADO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO

PAULO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOECKEL

IMPLICAÇÕES DA OFERTA E DA DEMANDA DE ETANOL: COMPORTAMENTO DE PREÇOS, INTERAÇÕES COM OS MERCADOS AGRÍCOLAS E MUDANÇAS NO COMÉRCIO

Porto Alegre
2018

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*

Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

PAULO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOECKEL

IMPLICAÇÕES DA OFERTA E DA DEMANDA DE ETANOL: COMPORTAMENTO DE PREÇOS, INTERAÇÕES COM OS MERCADOS AGRÍCOLAS E MUDANÇAS NO COMÉRCIO

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
Orientador: Prof. Dr. Augusto Mussi Alvim

Porto Alegre
2018

Ficha Catalográfica

H693i Hoeckel, Paulo Henrique de Oliveira

Implicações da oferta e da demanda de etanol : comportamento de preços, interações com os mercados agrícolas e mudanças no comércio / Paulo Henrique de Oliveira Hoeckel . – 2018.

109 f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Mussi Alvim.

1. mercado de etanol. 2. oferta e demanda. 3. comportamento de preços. 4. commodities agrícolas. 5. comércio internacional. I. Alvim, Augusto Mussi. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Bibliotecária responsável: Salete Maria Sartori CRB-10/1363

PAULO HENRIQUE DE OLIVEIRA HOECKEL

IMPLICAÇÕES DA OFERTA E DA DEMANDA DE ETANOL: COMPORTAMENTO DE PREÇOS, INTERAÇÕES COM OS MERCADOS AGRÍCOLAS E MUDANÇAS NO COMÉRCIO

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Economia, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Escola de Negócios da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 26 de março de 2018, pela Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Augusto Mussi Alvim
Orientador e Presidente da sessão

Prof. Dr. Adelar Fochezatto

Prof. Dr. Clailton Ataídes de Freitas

Prof. Dr. José Pedro Pontes

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PPGE/PUCRS), seus professores e funcionários, por todo apoio e conhecimento compartilhado.

Ao meu orientador, professor Augusto Mussi Alvim, pela dedicação na orientação deste estudo e por todo conhecimento compartilhado.

Aos professores José Pedro Pontes e João Dias do *Lisbon School of Economics and Management* da Universidade de Lisboa (ISEG/UL), pelo conhecimento compartilhado, contribuições no desenvolvimento desse trabalho e também pelo acolhimento durante a realização do doutorado sanduíche no ISEG.

Aos professores participantes da banca examinadora, José Pedro Pontes, Adelar Fochezatto e Clailton Ataídes de Freitas (que também contribuiu durante minha formação acadêmica), pelas contribuições e por aceitarem participar desta importante etapa da minha formação acadêmica. Ao professor Paulo Waquil pelas contribuições na defesa de projeto de tese.

Aos colegas do PPGE, que se transformaram em bons amigos, pela amizade e pelo conhecimento compartilhado: Ana Carolina, Anderson, Andrea, Andreia, Blanca, Carlos, Célio, Douglas, Gustavo, Janice, Laura, Lívia, Pedro, Pedro Henrique, Tanise, Tatiane e a todos os colegas.

Aos colegas de gabinete no ISEG/UL, Mina Kazemi e José Carlos, que durante minha estadia em Lisboa foram bons amigos.

Aos demais amigos de Lisboa que tornaram o período longe de casa e da família mais agradável.

Aos meus pais, Ermindo e Maria Lúcia, principais responsáveis por minha educação, por meus valores éticos e morais, agradeço pelo apoio incondicional, amor, carinho e por sempre acreditarem em mim e nos meus sonhos.

As minhas irmãs, Ana Paula e Chaiane, e ao meu sobrinho Davi Miguel, por todo amor, carinho e amizade.

A todos os amigos, em especial Dieison, Cezar, Magnos, Francis, Lucas, Rovian, Tiago e Jader, pelo companheirismo.

A Valesca e sua família, pelo apoio e carinho.

A Capes, por possibilitar financeiramente o meu estudo.

A todos que contribuíram de alguma forma, muito obrigado!

RESUMO

Esta tese apresenta três ensaios para analisar o mercado de etanol. O primeiro ensaio busca especificar e estimar simultaneamente equações de oferta e de demanda para o mercado de etanol brasileiro de janeiro de 2012 a dezembro de 2016, utilizando Mínimos Quadrados em dois estágios (MQ2E). Os principais resultados mostram que a resposta a variações na oferta e na demanda são elásticas para o Brasil, sendo que a resposta no mercado de etanol a variações nos preços se dá no lado da oferta. A nível regional verificou-se que em regiões com maior produção e consumo a resposta a variações no preço do etanol é menos elástica. O segundo ensaio procura desenvolver uma sintetização do mercado mundial de etanol, considerando os Estados Unidos (EUA) e o Brasil, utilizando a equivalência calórica, para identificar empiricamente as elasticidades de oferta e de demanda, assim como avaliar a relação da produção mundial com os preços das *commodities* agrícolas (trigo, arroz, milho, soja e açúcar), para o período de 1981 a 2016, usando como variáveis instrumentais choques de rendimentos induzidos pelo clima. Os principais resultados para o mercado mundial indicam uma resposta elástica da produção e da demanda de etanol a variações nos preços. A produção mundial de etanol não teve relação significativa com os preços dos alimentos, porém ao avaliar o mercado de etanol e sua interação com o mercado de *commodities* agrícolas a hipótese de que o etanol brasileiro possui uma relação de menor magnitude com o preço dos alimentos é verificada. Por fim, o terceiro ensaio avalia quais são os impactos no comércio internacional de etanol, simulando novos cenários com base nas discussões propostas na literatura e em projeções para o setor, realizando a calibração de um modelo de equilíbrio parcial, formulado como um Problema de Complementaridade Mista (PCM). Os principais resultados mostram que em um cenário de aumento da produção ou de consumo no mercado brasileiro tem um impacto maior no comércio internacional, favoráveis aos produtores e consumidores do Brasil, quando ocorrem conjuntamente com mudança na política comercial de remoção da tarifa de importação ao etanol brasileiro por parte dos EUA e a imposição de tarifa de importação pelo Brasil. Após a mudança tarifária, a produção no Brasil tem aumento significo, com diminuição da parcela da demanda interna suprida pelo mercado externo.

Palavras-chave: mercado de etanol; oferta e demanda; comportamento de preços; *commodities* agrícolas; comércio internacional.

ABSTRACT

This doctoral dissertation presents three essays to analyze the ethanol market. At first, the aim is to specify and estimate simultaneously supply and demand equations for the Brazilian ethanol market from January 2012 to December 2016, using two-stage least squares (2SLS). The main results show that the response to variations in supply and demand is elastic for Brazil, and the response in the ethanol market to price changes is in favor of the supply. At the regional level it was found that in regions with higher production and consumption the response to changes in the price of ethanol is less elastic. The second essay aims to develop a synthesis of the world ethanol market, considering the United States and Brazil, using caloric equivalence, to empirically identify supply and demand elasticities, as well as evaluate the relation of world production to prices of agricultural commodities (wheat, rice, maize, soy and sugar) for the period from 1981 to 2016, using as instrumental variables yield shocks induced by the climate. The main results for the world market indicate an elastic response of ethanol production and demand to changes in prices. The world production of ethanol had no significant relation with food prices, but when assessing the ethanol market and its interaction with the agricultural commodities market, the hypothesis that Brazilian ethanol has a lower magnitude relation with the price of food is verified. Finally, the third essay assesses the impacts of the international trade of ethanol, simulating new scenarios based on the discussions proposed in the literature and projections for the sector, performing the calibration of a partial equilibrium model formulated as a Mixed Complementarity Problem. The main results show that in a scenario of increased production or consumption in the Brazilian market it has a greater impact on international trade favorable to Brazilian producers and consumers when they occur together with a change in the commercial policy of removal of the import tariff to Brazilian ethanol by part of the US and the imposition of import tariff by Brazil. After the tariff change, production in Brazil has a significant increase, with a decrease in the share of domestic demand supplied by the foreign market.

Key-Words: ethanol market; supply and demand; price behavior; agricultural commodities; international trade.

LISTA DE GRÁFICOS

ENSAIO 1

Gráfico 1 – Produção mundial de etanol total (milhões de galões) 20
Gráfico 2 – Série histórica do volume de vendas de etanol hidratado 21
Gráfico 3 – Série histórica do preço do etanol hidratado e da gasolina no Brasil (2002-2016) 22
Gráfico 4 – Produção de cana-de-açúcar 41
Gráfico 5 – Série histórica do preço do etanol hidratado (PEH) para as regiões brasileiras (2002-2016) 42
Gráfico 6 – Série histórica do preço da gasolina (PG) para as regiões brasileiras (2002-2016) 42

ENSAIO 2

Gráfico 1 – Produção mundial de etanol combustível 47
Gráfico 2 – Exportações e Importações 2007-2016 (m^3) e os destinos das exportações de etanol do Brasil em 2016 (percentual) 48
Gráfico 3 – Produção, consumo e comércio de etanol combustível dos EUA 49
Gráfico 4 – Exportação e Importação de etanol nos EUA 49
Gráfico 5 – Destinos da exportação de etanol dos EUA (2015-2016) 50
Gráfico 6 – Produção total e uso do milho nos EUA 80
Gráfico 7 – Preço das *commodities* agrícolas 81
Gráfico 8 – Produção (oferta) de etanol 81

LISTA DE QUADROS E TABELAS

ENSAIO 1
Tabela 1 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para o Brasil 31
Tabela 2 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para as regiões brasileiras 33
Quadro 1 - Divisão regional do território brasileiro 41
ENSAIO 2
Tabela 1 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para os EUA 66
Tabela 2 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para o Brasil 69
Tabela 3 - Preço das *commodities* alimentares e a produção de etanol 71
Quadro 1 - Variáveis utilizadas, unidades e as respectivas fontes 79
ENSAIO 3
Quadro 1 - Variáveis utilizadas e suas respectivas fontes 90
Quadro 2 - Distribuição das regiões para a construção dos cenários 91
Quadro 3 - Cenários considerados para a análise de resultados 93
Tabela 1 - Variações na oferta, demanda e preços na calibragem do modelo utilizado como cenário-base 94
Tabela 2 - Produção e consumo médio de etanol observado e estimado (2014-2016) ... 95
Tabela 3 - Variação na produção, consumo e preços no cenário de um choque de oferta no etanol brasileiro (C1) 97
Tabela 4 - Variação na produção, consumo e preços no cenário 2 98
Tabela 5 - Variação na produção, consumo e preços no cenário de um choque de demanda no Brasil (C3) 99
Tabela 6 - Variação na produção, consumo e preços no Cenário 4 100
Tabela 7 - Melhores cenários alternativos 101
Tabela 8 - Elasticidades e preços observados para o mercado de etanol 109

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 12

ENSAIO 1: O MERCADO DE ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA OFERTA E DA DEMANDA USANDO MQ2E 16

1 INTRODUÇÃO 16

2 MERCADO DE ETANOL COMBUSTÍVEL NO BRASIL 18

3 METODOLOGIA 23

3.1 Análise da oferta e da demanda de etanol no Brasil 23

3.2 Modelo proposto 26

3.3 Fonte de dados 28

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 30

5 CONCLUSÃO 36

REFERÊNCIAS 38

APÊNDICE A 41

ENSAIO 2: PRODUÇÃO DE ETANOL E SUA RELAÇÃO COM O PREÇO DE COMMODITIES AGRÍCOLAS 43

1 INTRODUÇÃO 43

2 O MERCADO DE ETANOL 46

2.1 Caracterização 46

2.2 Referencial analítico 51

3 METODOLOGIA 56

3.1 Modelo de oferta e de demanda: teoria, especificação e identificação 56

3.2 Fonte de dados 64

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 65

5 CONCLUSÃO 72

REFERÊNCIAS 76

APÊNDICE B 79

ENSAIO 3: MUDANÇAS NO MERCADO INTERNACIONAL DE ETANOL: CALIBRAÇÃO DE UM MODELO ESPACIAL USANDO PCM 82

1 INTRODUÇÃO 82

2 REVISÃO DE LITERATURA 85

3 METODOLOGIA 87

3.1 Estrutura do modelo 87

3.2 Dados 89

3.3 Cenários 91

4 RESULTADOS 93

4.1 Calibragem do modelo e cenário-base 93

4.2 Cenários alternativos..... 96
5 CONCLUSÃO..... 102
REFERÊNCIAS 105
APÊNDICE C..... 109

APRESENTAÇÃO

A questão energética tem recebido crescente destaque, principalmente nas últimas três décadas, devido ao papel central da oferta de energia para o crescimento econômico dos países. Aliado a isso está a preocupação com a questão do meio ambiente, dado as externalidades negativas das atividades econômicas ligadas a emissão de gases de efeito estufa e também pela possível mudança da matriz energética mundial, atualmente baseada em fontes fósseis de energia que são finitas, apontando para a necessidade de fontes energéticas renováveis.

Assim, a busca por energias renováveis para um desenvolvimento mais sustentável tem sido crescente, sendo os biocombustíveis apontado como uma fonte de energia eficaz e madura em alguns países. Desta forma, o etanol, principal biocombustível produzido e consumido em escala global, tem se destacado como uma boa alternativa aos combustíveis fósseis, tendo nos Estados Unidos (EUA) e no Brasil os dois principais exemplos de expansão e consolidação desse setor.

Nos EUA, maior produtor e consumidor do mundo, o etanol tem como principal insumo o milho, recebendo subsídios por parte do governo americano na produção o setor se tornou autossuficiente e passou a ser o maior exportador mundial. Porém, recentemente, a expansão da produção e a utilização do milho em larga escala e seus benefícios para o meio ambiente tem sido questionada, devido a este também ser usado na alimentação humana e animal, além da substituição da produção em terras que anteriormente eram usadas para produção de outros alimentos e passaram a ser utilizadas para produzir milho destinado a produção de etanol.

No Brasil, segundo maior produtor e consumidor, a produção em larga escala de etanol[1], já consolidada a mais de quarenta anos (a partir do evento do Proálcool ocorrido em 1975), tem como insumo base a cana-de-açúcar. Atualmente, o setor vem apresentando diversificações na produção, como o etanol de segunda geração e a utilização de outras culturas como insumo produtivo, além de ter viabilizado novas tecnologias, como os carros bicombustíveis e a geração de energia elétrica da queima do bagaço da cana-de-açúcar. A produção de etanol ainda dispõe de terras agrícolas não

[1] Cabe destacar que o produto brasileiro é produzido na forma hidratado e anidro. O etanol hidratado é utilizado/vendido diretamente como combustível enquanto o etanol anidro é utilizado como mistura na gasolina.

exploradas, além de não poder se afirmar que o produto brasileiro tenha uma relação de competição ligada ao preço dos alimentos, apesar de concorrer com a produção de açúcar.

Nesse sentido, a presente tese contribui ao analisar as implicações da oferta e da demanda de etanol com relação ao comportamento de preços, a interação com os mercados agrícolas e as mudanças no comércio em virtude de alterações no padrão de produção, consumo e das políticas comerciais, apresentando três pesquisas na forma de ensaios. Os dois primeiros têm em comum o fato de usarem séries temporais e modelos de oferta e de demanda com a utilização de estimador de variáveis instrumentais. Enquanto o terceiro faz uma análise considerando a relação de comércio atual com a utilização de um modelo de equilíbrio parcial.

Assim, pode-se delinear como problema geral da presente tese o seguinte questionamento: como a demanda e a oferta de etanol respondem a variações de preço e na renda, como se relacionam com o preço dos alimentos e como ocorre a repercussão na demanda e oferta dado mudanças nos padrões de produção e consumo, aliados a alterações na política comercial?

A resposta para o problema de pesquisa é construída ao longo dos três ensaios que constituem a presente tese. O primeiro ensaio tem por objetivo especificar e estimar equações de oferta e de demanda para o mercado de etanol brasileiro, a nível nacional e regional, e analisar os efeitos das alterações de preços e da renda dos consumidores. Os dados são mensais para o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2016. A contribuição para literatura está em analisar o mercado de etanol simultaneamente, com a utilização do estimador de variáveis instrumentais de Mínimos Quadrados em dois estágios (MQ2E), fornecendo coeficientes de elasticidades robustos para esse setor. As elasticidades estimadas da oferta e da demanda de etanol hidratado para o Brasil e regiões brasileiras fornecem subsídios para que, com base nos resultados obtidos, seja possível avaliar possíveis mudanças no mercado em virtude das políticas públicas atuais que englobam o setor.

Os principais resultados para o Brasil indicam que a oferta de etanol hidratado é positiva e elástica a preço, indicando que a oferta responde positivamente a aumentos de preço no período anterior. A demanda de etanol hidratado é elástica ao preço, ao preço da gasolina e inelástica ao preço do etanol anidro. Identifica-se ainda, comparando os modelos de oferta e de demanda, que a resposta da produção de etanol a variações nos preços se dá no lado da oferta. A nível regional, para o modelo de oferta, verificou-se que a oferta de etanol hidratado tem uma resposta elástica a preço e positiva, sendo que apenas

para região Sudeste a resposta é inelástica. No modelo de demanda, para todas as regiões, a elasticidade-preço mostrou-se elástica e negativa. As regiões com maior volume de produção e também consumo, Sudeste e Centro-Oeste, apresentaram menor sensibilidade a variações nos preços, sendo que na média essas regiões apresentam preços menores em comparação as demais. Os resultados mostram que o etanol anidro e a gasolina são bens substitutos do etanol hidratado, sendo que a elasticidade-renda indicou que o mesmo é um bem normal.

O segundo ensaio procura desenvolver uma sintetização do mercado mundial de etanol, para identificar empiricamente as elasticidades de oferta e de demanda, assim como avaliar a relação da produção mundial com os preços das *commodities* agrícolas alimentares básicas (trigo, arroz, milho, soja e açúcar). Para tanto, inicialmente, as estimações são realizadas separadamente para o mercado de etanol nos EUA e no Brasil, estimando (MQ2E) as equações de oferta e de demanda, utilizando o preço do insumo base e na análise da relação com o mercado agrícola o preço considerando a equivalência calórica, assim como Roberts e Schlenker (2013), posteriormente, é utilizado um modelo de Dados em Painel, aplicando o estimador de Baltagi (EC2SLS), para avaliar o mercado de forma agregada. A base de dados é constituída por variáveis com periodicidade anual, que compreendem o período de 1981 a 2016. Esse ensaio procura contribuir com as estimativas de elasticidades de oferta e de demanda a nível internacional (mundial) para o mercado de etanol, sendo assim uma contribuição ainda não explorada pela literatura existente, além de analisar a interação do mercado agregado de etanol com o preço das *commodities* agrícolas.

Os principais resultados para o mercado mundial de etanol mostram que a resposta da produção de etanol a mudanças no preço é elástica, logo mudanças na demanda, vão se traduzir principalmente em mudanças na produção em vez de variações no preço. Do lado da demanda, a elasticidade-preço da demanda altamente elástica, sugere que os preços do etanol têm um forte efeito sobre a quantidade demandada de etanol. A produção mundial de etanol não teve relação significativa com os preços dos alimentos. Ao avaliar o mercado de etanol e sua interação com o mercado de *commodities* agrícolas (preço dos alimentos), entre os principais apontamentos destaca-se o de demonstrar que o produto brasileiro pode trazer uma possível influência positiva (relação de menor magnitude), se for utilizado em maior escala em detrimento do produto americano, no cenário atual de aumento de preços das *commodities* alimentares a nível mundial.

Por fim, o terceiro ensaio avalia os impactos no comércio de etanol, simulando novos cenários com base nas discussões propostas na literatura existente, interligando os resultados com apontamentos de políticas públicas e a situação atual do mercado de etanol. É utilizado um modelo de equilíbrio parcial, formulado como um Problema de Complementaridade Mista (PCM) incluindo tarifas comerciais e subsídios. Em um primeiro momento, um aumento na oferta de etanol brasileiro é simulado, posteriormente, a tarifa de importação ao etanol brasileiro por parte dos EUA é removida e a imposição de uma tarifa de importação mais alta por parte do Brasil ao etanol oriundo dos EUA é testada, e por fim, da mesma forma, um aumento na demanda de etanol no Brasil é simulada, testando-se também a mudança de tarifas (política comercial). A contribuição deste ensaio para a literatura está em ser um primeiro alicerce para a construção de políticas públicas que foquem não só em questões ambientais, mas também em políticas de apoio à produção e comercialização do etanol brasileiro, assim como fornece subsídios empíricos a respeito das mudanças na política comercial discutida atualmente.

Os principais resultados, considerando o ambiente econômico atual, indicaram que um aumento na produção de etanol no Brasil implica em redução nos demais países e os excedentes de etanol brasileiro direcionados ao mercado internacional só tem um maior efeito sobre o mercado dos EUA (redução de produção e aumento de demanda) quando as políticas comerciais são implementadas. Do mesmo modo, quando um aumento de demanda no mercado brasileiro é simulado todos os países têm ganhos de produção e redução de demanda, sendo a maior parcela da demanda no Brasil atendida pela produção interna e por importação dos EUA (via redução de demanda). Após a mudança tarifária, a produção no Brasil tem um aumento ainda mais significativo, diminuindo a parcela de demanda suprida pelos EUA, que tem redução na magnitude dos ganhos de produção e perdas de consumo.

ENSAIO 1: O MERCADO DE ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA OFERTA E DA DEMANDA USANDO MQ2E

1 INTRODUÇÃO

A principal fonte de combustível consumida no mundo é de origem fóssil, derivados do petróleo que além de ser poluente é finito, logo o desenvolvimento de novos combustíveis, cuja origem seja renovável e menos poluente, é de fundamental importância. Desta forma, os biocombustíveis[2] surgem como uma alternativa eficaz, sendo fonte de energia renovável oriunda de produtos vegetais e animais. Nesse sentido, o etanol brasileiro produzido a base da cana-de-açúcar, tem baixo consumo de fertilizantes e defensivos na sua produção, possui um processo produtivo que utiliza energia renovável, além de apresentar baixos níveis de perdas do solo.

O etanol é o principal biocombustível no mundo em termos de produção e consumo. O Brasil, conforme dados da *Renewable Fuels Association* (RFA, 2017), é o segundo maior produtor e exportador de etanol no mundo, produzindo aproximadamente 27,6 bilhões de litros de etanol em 2016 (com aproximadamente 400 usinas instaladas no país), atrás apenas dos Estados Unidos, com produção pouco superior a 50 bilhões de litros no mesmo período.

A produção de etanol no Brasil, de acordo com Ferreira Filho e Horridge (2014), ganhou força a partir de 1970, com um programa (Proálcool) que levou ao desenvolvimento e produção por empresas de automóveis com motores *flex-fuel*[3]. Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de etanol de cana-de-açúcar e cerca de metade de todos os carros brasileiros (e quase todos os carros novos) usam esses motores, que podem rodar com qualquer mistura de etanol puro ou misturado à gasolina. Em 2010 os carros usaram volumes quase iguais de gasolina e etanol (embora o diesel, usado principalmente por veículos comerciais, foi responsável por quase 50% do consumo de energia de transporte).

---

[2] Biocombustíveis são produtos à base de plantas e das quais se produz o etanol por meio do álcool da cana-de-açúcar – na Europa é produzido da beterraba – ou do amido (milho, trigo, raízes e de tubérculos). O biodiesel pode ser produzido de plantas oleosas (colza, girassol, soja, mamona e palmeira-de-dendê) (KOHLHEPP, 2010).

[3] Nos últimos anos a quantidade de carros "*flex-fuel*" fabricados no país saiu de zero (iniciando em 2003) para quase três milhões. Atualmente, representam pouco mais de 90% dos carros fabricados no país (ANFAVEA, 2017).

Cardoso e Bittencourt (2013) destacam que o recente aumento da frota de automóveis tem impacto significativo na economia brasileira, seja nas externalidades negativas que esta causa com o aumento da poluição nas grandes cidades, seja com o aumento na propensão à ocorrência de acidentes, congestionamentos, ou aumento na dependência por considerável e suficiente oferta de combustíveis. Logo, o etanol, além de suprir esse aumento na demanda por combustíveis, ajuda a minimizar os efeitos das emissões de gases de efeito estufa sobre o meio ambiente.

O crescente destaque dos biocombustíveis, conforme apontado por Bastos (2007), deve-se aos aumentos no preço do petróleo, as perspectivas de esgotamento das reservas, os riscos geopolíticos decorrentes da dependência do petróleo de países politicamente instáveis e os compromissos mais sólidos com a questão ambiental desde a assinatura do Protocolo de Quioto que fizeram renascer a atenção nas fontes alternativas de energia. Desta maneira, o biodiesel, a célula combustível de hidrogênio e, principalmente, o etanol passaram a constar de forma definitiva na agenda dos governos e das políticas de praticamente todos os países.

Desta forma, o etanol brasileiro é uma excelente opção para a produção sustentável de biocombustíveis em larga escala no mundo, o que torna o País um potencial líder na produção e exportação mundial. Diante deste contexto, visto a importância do mercado de etanol para a economia brasileira, é importante destacar que o recente aumento na demanda por etanol no Brasil tem impacto sobre o mercado de combustível e agrícola. Logo, essa situação acentua a necessidade de uma análise atualizada e ampliada do mercado de etanol combustível, a fim de compreender melhor o provável impacto de alterações no consumo e produção, assim como, torna-se fundamental conhecer e analisar os fatores que influenciam na evolução da oferta e da demanda do etanol brasileiro.

Neste sentido, o presente estudo visa contribuir com a literatura que estuda o mercado de etanol brasileiro[4], realizando a análise deste de forma simultânea, avaliando tanto a parte dos consumidores quanto a dos produtores, sendo um dos primeiros estudos na literatura existente que realiza a estimação das equações de oferta e de demanda de etanol de forma simultânea para o Brasil e o primeiro para as cinco regiões brasileiras[5]. Para tanto, utiliza-se o ferramental econométrico de equações simultâneas através de um

[4] Na seção 3 é apresentada uma breve revisão dos trabalhos que estudam o mercado de etanol brasileiro e se enquadram ao escopo da presente pesquisa.
[5] A divisão geográfica do Brasil em regiões pode ser observada no Quadro A1 do Apêndice A.

estimador de variáveis instrumentais para estimar as relações de oferta e de demanda do etanol.

Assim, o objetivo do presente estudo é especificar e estimar as equações de oferta e de demanda para o mercado de etanol brasileiro, a nível nacional e regional, e analisar os efeitos das alterações de preço e da renda dos consumidores, fornecendo subsídios para que, com base nos resultados obtidos, seja possível avaliar possíveis mudanças no mercado em virtude das políticas públicas atuais que englobam o setor no Brasil. Portanto, delineia-se como problema de pesquisa: a partir do modelo de oferta e de demanda e dos estudos que analisam o mercado de etanol, quais os fatores que contribuem para explicar as variações no comportamento da produção (oferta) e venda (demanda) do etanol combustível no Brasil e quais as principais diferenças regionais?

Para tanto, visando responder a esse questionamento, o presente estudo está estruturado em mais quatro seções além desta introdução. A segunda seção expõe brevemente o mercado de etanol combustível no Brasil. Na seção seguinte apresenta-se uma revisão dos principais estudos presentes na literatura relacionados ao tema de pesquisa e o modelo econométrico estimado, além de uma descrição dos dados utilizados. Por fim, a quarta seção apresenta os resultados obtidos e a última traz as conclusões.

2 MERCADO DE ETANOL COMBUSTÍVEL NO BRASIL

O Brasil tem utilizado o etanol como combustível a quase um século, porém a sua produção em larga escala começou a cerca de quarenta anos. Segundo Leite e Leal (2007) o etanol vem sendo usado como combustível no Brasil desde os anos 1920, mas foi somente com o advento do Proálcool[6], em novembro de 1975, que seu papel ficou claramente definido a longo prazo, permitindo que o setor privado investisse maciçamente no aumento de produção. A motivação do governo para lançar o Proálcool foi o peso significativo da conta de petróleo na balança de pagamentos do país, que importava na época mais de 80% do petróleo que consumia.

De acordo com Macedo (2007) a produção e o consumo de etanol no Brasil é o melhor exemplo (no mundo) da introdução de energia renovável com uma grande escala de produção. No entanto, esse processo exigiu extenso desenvolvimento tecnológico

[6] Conforme Masiero e Lopes (2008) o Programa Brasileiro de Etanol, o Proálcool, consistia em desenvolver o uso do etanol ou do etil álcool como combustível, podendo ser utilizado para substituir o *methyl tert-butyl ether* (MTBE) da gasolina ou utilizado na forma pura como combustível de veículos automotores.

(geração, importação, adaptação e transferência de tecnologias) na produção (agrícola e industrial), na logística e nos usos finais, nos últimos trinta anos[7].

Ainda conforme Macedo (2007), como indicadores desse processo de intensa incorporação de inovações tecnológicas e processos mais efetivos de gestão, podem ser citados os resultados obtidos no período 1975-2000 em São Paulo. Os números de produtividade agrícola indicam aumentos de 33%, em toneladas de cana-de-açúcar por hectare; a qualidade da matéria-prima evoluiu 8%, medida em teor de açúcar na cana-de-açúcar; observaram-se ganhos de 14% na conversão dos açúcares na cana-de-açúcar para etanol e de 130% na produtividade da fermentação, medida em metros cúbicos de etanol por metro cúbico de reator/dia.

Após o Proálcool, o etanol ganhou grande impulso e se tornou uma importante fonte de energia para o país. Atualmente, de acordo com informações da Petrobrás Biocombustíveis (2016), o etanol brasileiro gerado a partir da cana-de-açúcar tem o menor custo de produção (comparado a produção nos EUA) e o maior rendimento em litros por hectare do produto. Todos os seus subprodutos são aproveitados: da fabricação do etanol temos a vinhaça e a torta de filtro, utilizadas como fertilizantes e com a queima do bagaço da cana-de-açúcar há a cogeração de energia.

A produção de cana-de-açúcar no país cresceu muito, chegando a um montante de aproximadamente 657,2 milhões de toneladas no ano safra 2016/17[8], conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), e a instalação de usinas sucroalcooleiras deu um salto quantitativo enorme. As regiões que mais produziram cana-de-açúcar no país são, respectivamente, Sudeste (66,34%), Centro-Oeste (20,43%) e Sul (6,43%). A produção de etanol, no ano safra 2016/17, chegou a casa dos 27,8 bilhões de litros, sendo a região Sudeste responsável pela maior parcela, cerca de 59%, da produção de etanol no Brasil (Gráfico 1). Em conjunto, as regiões Sudeste e Centro-Oeste respondem por aproximadamente 89% do total produzido.

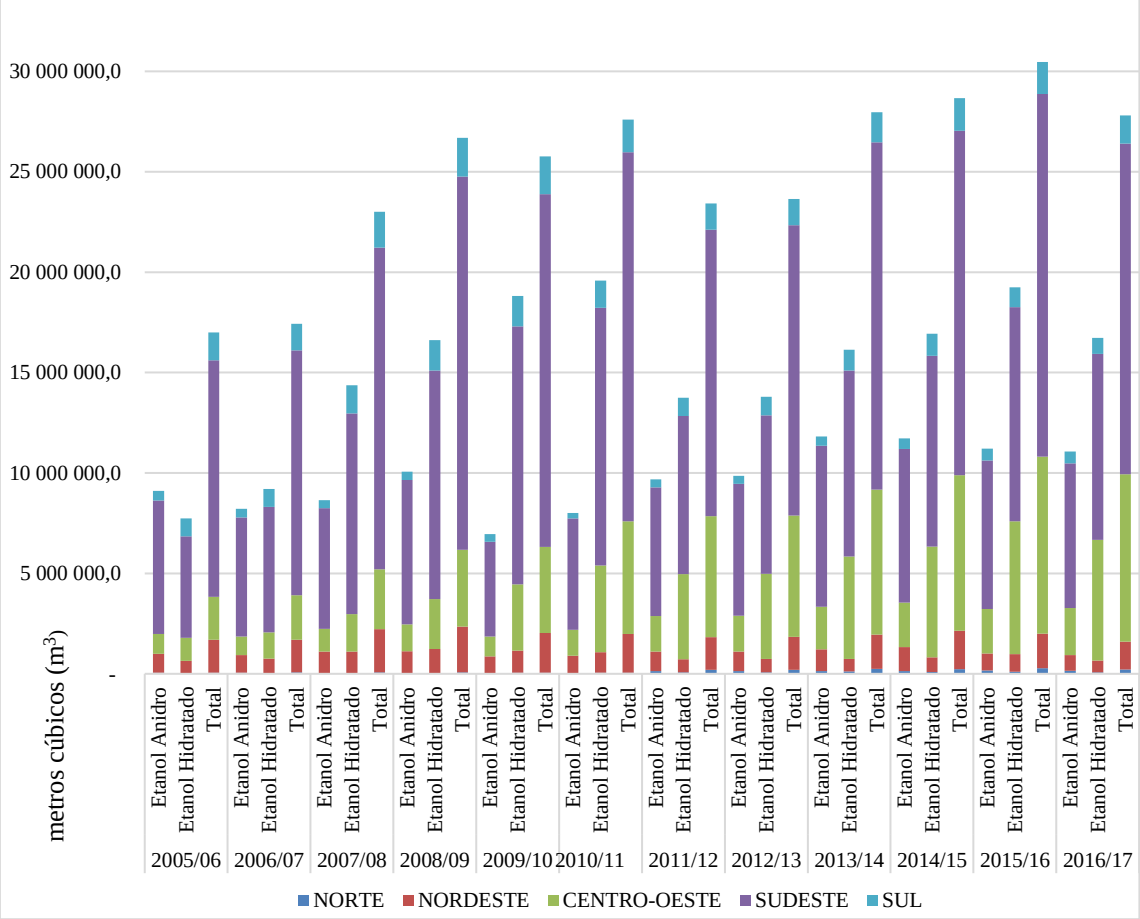
---

[7] Entre alguns dos principais avanços tecnológicos nesse período, destacado por Macedo (2007), até os anos 1990, destacam-se a introdução em larga escala de variedades de cana-de-açúcar desenvolvidas no Brasil, o desenvolvimento do uso integral da vinhaça na ferti-irrigação, controles biológicos na produção da cana-de-açúcar, desenvolvimento do sistema de moagem com quatro rolos, tecnologia para operação de fermentações "abertas" de grande porte, aumento na produção de energia elétrica na indústria (autossuficiência) e o uso final (especificações do etanol, motores E-100, transporte, mistura e armazenamento do álcool). Entre 1990 e 2000, a otimização do corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar, o mapeamento do genoma da cana-de-açúcar, transformações genéticas, a mecanização da colheita, a obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária, avanços em automação industrial, avanços no gerenciamento técnico (agrícola e industrial) e a introdução dos motores *flex-fuel* (2003).

[8] A evolução na produção pode ser observada no Gráfico 4 do Apêndice A.

De acordo com a CONAB (2017), o país produz, em média, aproximadamente 25 bilhões de litros de etanol por ano, considerando os últimos 12 anos de produção (2005 a 2016). A produção de etanol no Brasil é dividida em etanol anidro (utilizado como mistura na gasolina) e hidratado (vendido diretamente na bomba dos postos de combustíveis). O etanol hidratado a partir de 2006 passou a responder pela maior parcela do etanol produzido, representando atualmente, aproximadamente 60% da produção total (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Série histórica da produção de etanol total

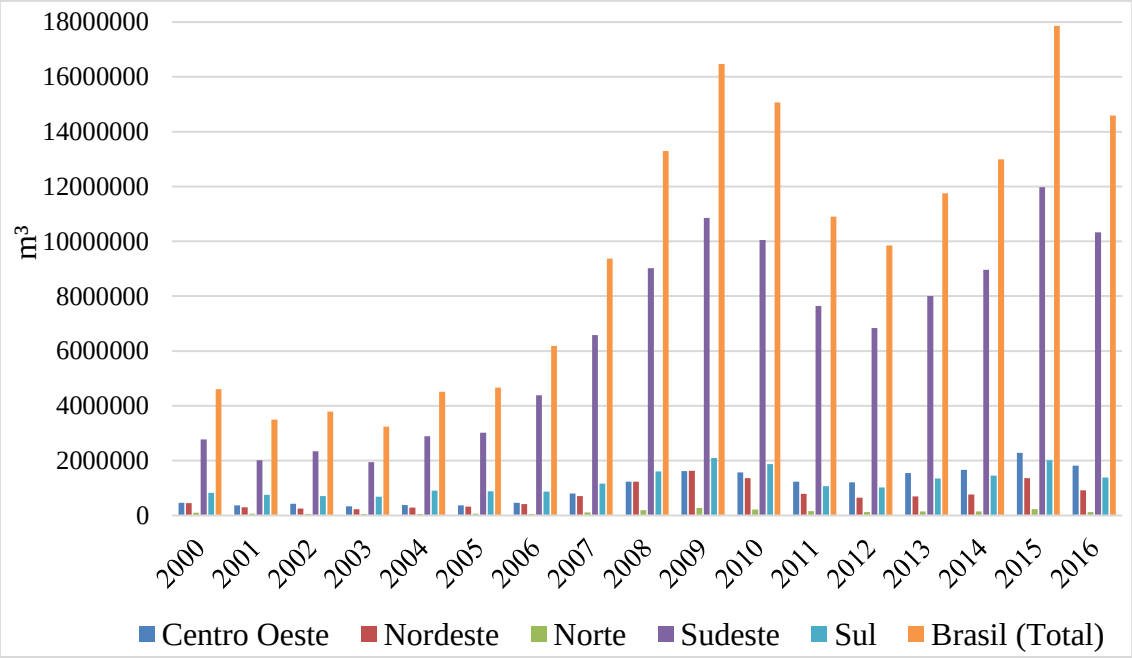


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da CONAB (2017)

A consolidação do etanol como importante fonte de energia combustível e principal biocombustível no país pode ser verificado no crescimento da demanda interna (vendas) de etanol hidratado, que em 2005 era de aproximadamente 5 bilhões de litros chegando a cerca de 18 bilhões de litros em 2015 conforme a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), como pode ser observado no Gráfico 2. Com a inserção na economia brasileira dos motores *flex-fuel*, em 2003, a demanda por

etanol combustível passa a ter um crescimento significativo até o ano de 2009, passando a ter uma tendência de queda até o ano de 2012, devido à queda do preço do seu principal substituto, a gasolina, oriunda da crise internacional e consequente redução dos preços do petróleo. A partir de 2012, se tem uma retomada do crescimento das vendas, chegando ao seu maior patamar no ano de 2015. A principal região consumidora de etanol combustível no mercado interno é o Sudeste, demandando em 2015 aproximadamente 12 bilhões de litros, cerca de 67% do total vendido no ano (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Série histórica do volume de vendas de etanol hidratado



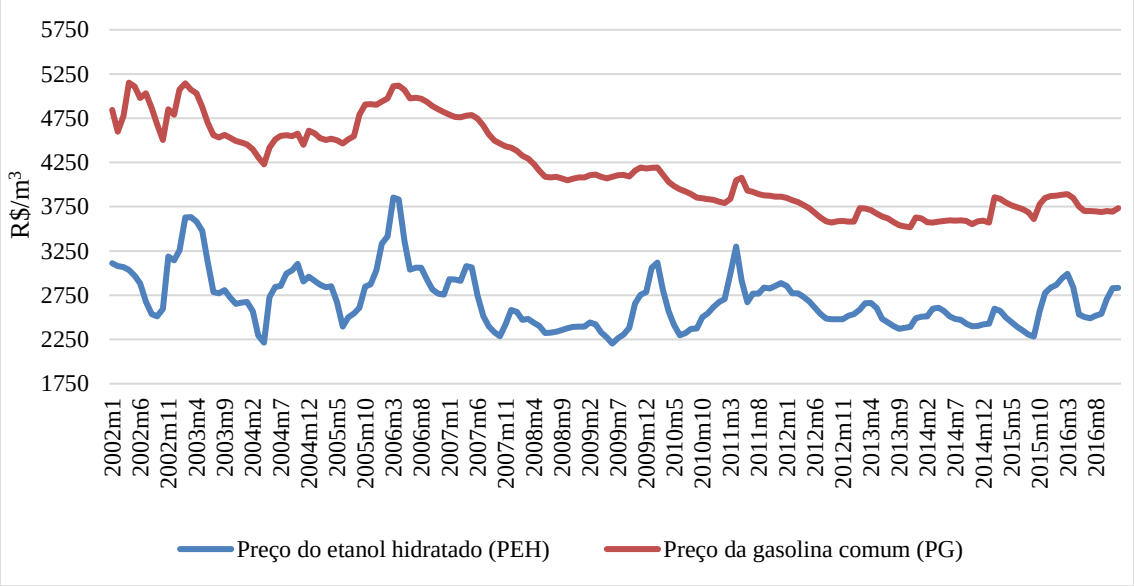
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da ANP (2017)

No entanto, segundo Orellano, Souza e Azevedo (2013), a introdução da tecnologia *flex-fuel* criou um segmento de mercado capaz de arbitrar a sua escolha, instantaneamente e sem custos, entre o consumo de gasolina e de etanol, o que, na ausência de heterogeneidade nas preferências dos consumidores, torna esses produtos substitutos quase perfeitos, diferindo apenas pela autonomia do veículo e características ambientais[9]. Essa opção do consumidor é refletida nas variações recentes do preço do etanol hidratado apresentados no Gráfico 3, ao passo em que, na medida que o preço tem

[9] Orellano, Souza e Azevedo (2013) destacam que dado que o diferencial de rendimento técnico entre etanol e gasolina é de cerca de 70%, com pequenas variações conforme o modelo do veículo (MAISTRO; ASAI, 2006), os proprietários de veículos *flex-fuel* tendem a modificar a sua escolha se e somente se o preço relativo ultrapassar essa proporção, a qual define situações em que o consumo de etanol ou de gasolina é mais vantajoso.

aumentos significativos as vendas do mesmo sofrem variações negativas podendo estar refletindo a "troca" do consumo deste por gasolina feita pelos consumidores, tal fato pode ser observado durante o ano de 2010 e 2011 (Gráfico 2)[10].

Gráfico 3 - Série histórica do preço do etanol hidratado e da gasolina no Brasil (2002-2016)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da ANP (2017)
Nota: Preço em valores reais – dezembro de 2016 (deflacionado pelo deflator IGPDI-BACEN).

A diferença existente em relação as regiões que possuem maior produção de etanol e que também são os principais consumidores, caso das regiões Sudeste e Centro-Oeste, se reflete também na relação dos preços, como é de se esperar, as regiões com maior produção apresentam preços mais baixos e com menor variação, diferente das regiões com menor produção, caso do Norte e Nordeste, em que os preços se mantiveram mais elevados ao longo do período analisado (Gráficos 5 e 6 do Apêndice A), assim é de se esperar comportamento diferente na demanda nessas regiões.

Mesmo diante de um crescimento significativo na produção e demanda de etanol no Brasil, o setor vem enfrentando dificuldades ao longo da última década. Santos *et al*. (2016) destacam que mesmo características como um produto interno bruto (PIB) setorial superior a R$ 120 bilhões em 2014, produção de 16% da energia do país e geração de 1 milhão de empregos, além da diversificação produtiva e do apelo ambiental no consumo, não tem sido suficientes para superar as dificuldades. Assim, a persistente dificuldade

[10] Os preços do Etanol hidratado e da gasolina comum, para as regiões brasileiras, podem ser observados nos Gráficos 5 e 6, respectivamente, apresentados no Apêndice A.

financeira, o endividamento e a baixa lucratividade são aspectos mais ressaltados nas cinco últimas safras[11].

Conhecido o contexto e cenário atual, pode-se afirmar que o Brasil além de ser o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo, possui uma tecnologia de produção que está totalmente madura e que a produção de etanol está perfeitamente consolidada, podendo crescer ainda na substituição da gasolina caso a volatilidade dos preços do petróleo continue. No entanto, ainda é preciso ultrapassar o atual contraste existente entre o tamanho e o potencial dessa agroindústria e as dificuldades que essa vem enfrentando[12].

3 METODOLOGIA

A presente seção busca, primeiramente, apresentar uma breve revisão sobre os trabalhos existentes na literatura relacionados ao tema em estudo e, posteriormente, analisar e especificar a equação de oferta e de demanda para avaliar os efeitos das alterações de preço e de renda dos consumidores sobre o mercado de etanol brasileiro.

3.1 Análise da oferta e da demanda de etanol no Brasil

Entre os principais e mais recentes estudos que analisaram o mercado de etanol brasileiro, estimando elasticidades, cabe destacar Farina *et al*. (2010), Freitas e Kaneko (2011a), Freitas e Kaneko (2011b), Cardoso e Bittencourt (2013), Orellano, Souza e Azevedo (2013), Santos (2013), Randow *et al*. (2013) e Melo e Sampaio (2014, 2016).

Com relação a análise da demanda de etanol no Brasil, alguns estudos utilizaram métodos de cointegração em séries temporais, para analisar a demanda no curto e longo prazo, utilizando como principais variáveis o preço do etanol, o preço da gasolina e uma variável como *proxy* de renda. Dessa forma, Farina *et al*. (2010) analisaram o período de julho de 2001 a agosto de 2009 e encontraram elasticidade-preço de curto prazo para o

[11] De acordo com Santos *et al*. (2016) entre as características que sinalizam desafios e potencializam crises estão fatores externos e internos à cadeia produtiva, como: variações do clima; baixas margens operacionais; endividamento das indústrias acima da sua receita anual; atrasos na adoção de tecnologias; comportamento de euforia com o surgimento do carro *flex-fuel* e crédito barato no início da década passada; falhas no planejamento ou atitudes inconsistentes com o longo prazo, como atrasos na recuperação de canaviais ou na mecanização da colheita; atrasos em cuidados ambientais.

[12] Para o leitor interessado em uma avaliação mais ampla acerca do cenário atual do setor produtor de etanol, seus desafios, crises e as perspectivas sugere-se ver Santos (2016).

Brasil de -1,23 e elasticidade cruzada de 1,45. Freitas e Kaneko (2011a), adicionalmente, utilizaram testes autorregressivos de defasagem distribuída (ARDL) para analisar as características da demanda de etanol após a introdução de veículos *flex-fuel* ao longo do período 2003-2010. As evidências mostram que o etanol reforçou a sua posição como combustível independente e substituto da gasolina, além disso, a dinâmica da gasolina com adição de etanol e os preços do etanol operam de forma simétrica em relação à demanda de etanol, demonstrando a crescente substituição entre estes combustíveis alternativos.

Em outro estudo, Freitas e Kaneko (2011b) avaliaram as características da demanda de etanol a nível regional, de janeiro de 2003 a abril de 2010, tendo em conta as peculiaridades de regiões desenvolvidas e as regiões em desenvolvimento, estimando a elasticidade da demanda de longo prazo. Os resultados encontrados mostraram que a demanda por etanol no Brasil difere entre as regiões. Melo e Sampaio (2014) analisaram a relação entre o mercado de gasolina e o de etanol por meio do modelo de Vetores Autorregressivos Estruturais. Os resultados mostram que no curto prazo o efeito do preço da gasolina é maior na demanda de etanol, porém, os consumidores aumentam a demanda por etanol no longo prazo. Além disso, a entrada dos veículos *flex-fuel* não ocasionou um aumento na demanda e no preço do etanol. Portanto, a escolha do consumidor pela gasolina é predominante no curto prazo, no entanto, um aumento repentino no preço do etanol leva a uma substituição desse no curto prazo.

Ainda analisando a demanda de etanol no Brasil, outro método empregado é o modelo de dados em painel. Utilizando essa metodologia, Cardoso e Bittencourt (2013) estimaram as elasticidades-preço, renda e cruzada da demanda por etanol, tanto no curto quanto no longo prazo, para o Brasil e para as cinco regiões brasileiras, de julho de 2001 a julho de 2011. Os resultados obtidos indicaram que o etanol é um bem elástico a preço, e que as elasticidades-preço e cruzada de curto prazo aumentaram no período pós-*flex*. Orellano, Souza e Azevedo (2013) analisaram a demanda por etanol no período 2001-2009, considerando as características regionais de renda e de preços relativos, utilizando dados estaduais mensais, com variáveis instrumentais para controlar a endogeneidade. Os resultados apontaram que a demanda é mais elástica em estados mais pobres e em que o preço relativo está próximo a 70%[13], e que existem diferenças regionais que independem

[13] 70% refere-se à taxa técnica de substituição entre etanol e gasolina, parâmetro relevante para as decisões de consumo de proprietários de veículos *flex-fuel*.

da heterogeneidade das preferências dos consumidores, mas decorrem da configuração logística e de renda.

Santos (2013) avaliou a sensibilidade dos consumidores de combustível em termos de preço e renda, no curto e longo prazo, levando em conta a política energética para a diversificação de combustível e a introdução de motores *flex-fuel*, estimando equações de demanda para a gasolina, etanol e gás natural, em bases trimestrais. Os resultados mostram que a dinâmica do mercado de combustíveis gira em torno de etanol em vez de gasolina. Enquanto a demanda pela gasolina e por gás natural é inelástica a preço, a demanda por etanol é elástica.

Considerando a análise da oferta do etanol para o Brasil, as metodologias empregadas seguem as da análise de demanda, porém o número de estudos ainda é limitado. Nesse sentido, Randow *et al*. (2013) estimaram os determinantes da oferta e da demanda de etanol para os estados brasileiros no período de 2001 a 2008, utilizando um painel simultâneo. Os resultados indicaram que a demanda do etanol é preço-elástica, além disso, confirmou-se a hipótese de que gasolina e etanol são substitutos imperfeitos e que tratasse de um bem normal, e também a existência de diferenças nas elasticidades entre os estados não produtores e produtores. A oferta de etanol se mostrou preço-elástica no curto prazo e preço-inelástica no longo prazo, tendo relação negativa com os preços do açúcar e da cana-de-açúcar, e a oferta de etanol anidro.

Melo e Sampaio (2016), utilizando o modelo de Vetores Autorregressivos (VAR), relacionaram os mercados de açúcar, etanol e gasolina, analisando como as ofertas de etanol e açúcar respondem a choques dos preços do etanol, açúcar e gasolina. Como resultado, os autores encontraram evidências que o produtor reage mais fortemente a uma mudança no preço do açúcar do que no preço do etanol, demonstrando a preferência em produzir açúcar.

Assim, o presente estudo se diferencia em relação aos estudos realizados para o Brasil, na medida que realiza a análise do mercado de etanol de forma conjunta, estimando as equações de oferta e de demanda simultaneamente para o Brasil e para as regiões brasileiras, tendo a preocupação com a endogeneidade presente no modelo, utilizando um estimador de variáveis instrumentais.

3.2 Modelo proposto

A especificação do modelo proposto tem por base o modelo teórico de equações simultâneas de oferta e de demanda. A fundamentação e as suas equações estruturais são especificadas por: Mas-Collel *et al*. (1995), Wooldridge (2002) e Greene (2008)[14].

As equações de demanda e oferta de etanol, propostas para o mercado brasileiro, seguem os trabalhos de Rask (1998) e Luchansky e Monks (2009), que analisaram as elasticidades de oferta e demanda no mercado de etanol dos EUA de 1984 a 1993, e de 1997 a 2006, respectivamente. Para isso, Rask (1998) adiciona ao modelo teórico as variáveis custo do transporte, nível de tecnologia, e as variáveis de regulação. Já Luchansky e Monks (2009) além de dados de produção de etanol e de preços mensais, examinaram para inclusão nos modelos de oferta e demanda, os preços do milho, da gasolina, de MTBE (um substituto para oxigenar etanol), os registros de veículos em todo o país, o PIB real, os níveis de subsídios federais ao etanol, o número de estados com plantas de etanol e a população total de todos os estados que proíbem MTBE.

Assim, o modelo proposto leva em consideração a incorporação de novas variáveis ao modelo teórico, proposta nos trabalhos de Rask (1998) e Luchansky e Monks (2009), além de considerar as variáveis utilizadas nos trabalhos que analisaram o mercado brasileiro apresentados anteriormente, aliado as particularidades deste mercado no Brasil e as especificidades de se utilizar dados mensais, sendo as equações de demanda e oferta definidas como:

$$Q^O = f(\, P_{ehd}, P_{CA}, P_A, S_{ea}) \tag{1}$$

$$Q^D = f(P_{eh}, P_{ea}, P_G, V, Y, i) \tag{2}$$

em que as variáveis utilizadas são a quantidade produzida (Q^O) e a quantidade vendida ou comercializada (Q^D) de etanol hidratado no mercado interno, o preço do etanol hidratado (P_{eh}), o preço do etanol hidratado defasado (P_{ehd}), o preço da cana-de-açúcar (P_{CA}), o preço do açúcar (P_A), a oferta ou produção de etanol anidro (S_{ea}), o preço do

[14] A fundamentação teórica e as equações estruturais do modelo de equações simultâneas são apresentadas e especificadas nos livros-texto citados e já estão consolidadas na literatura, logo optou-se por não apresentá-las no presente estudo.

etanol anidro (P_{ea}), o preço da gasolina comum (P_G), o número de veículos (V), a variável renda (Y), e a taxa de câmbio (i).

No modelo de oferta o preço do etanol é utilizado defasado, pois a tomada de decisão por parte do produtor ocorre dada a expectativa de preços, que tem por base o período anterior (*t-1*) ao observado no período presente (*t*). Normalmente em análises de mercados agrícolas se utiliza a defasagem de um período quando se trata de periodicidade anual (ano/safra), porém, no presente estudo os dados possuem periodicidade mensal, assim considera-se os modelos testando variações de defasamento para 1, 3 e 12 meses. Esses períodos, dado o insumo utilizado para a produção de etanol, justificam-se pelos seguintes motivos: 1 mês, testa-se a decisão do produtor no curtíssimo prazo, dado que após a colheita da cana-de-açúcar a sua tomada de decisão deve ser quase imediata (entre produção de etanol ou açúcar); 3 meses é utilizado considerando-se que, o início da série é janeiro e normalmente a colheita ocorre de maio a novembro, logo a tomada de decisão ocorre considerando o mês anterior ao início da safra; e por fim, 12 meses é o período normal de um ano/safra (o ciclo da cana-de-açúcar normalmente é de 6 anos com 5 cortes).

Assim, a partir do sistema de equações estruturais do modelo de equações simultâneas e das equações de oferta e de demanda de etanol para o mercado brasileiro, (1) e (2), o seguinte sistema de equações de oferta e demanda, respectivamente, com a forma funcional de duplo-logaritmo, é estimado para o Brasil e também para as suas cinco regiões:

$$ln\, Q_{s_t} = \beta_{11} + \alpha_{11} lnP_{eh_{t-1}} + \beta_{12} lnP_{CA_t} + \beta_{13} lnP_{Al_t} + \beta_{14} lnS_{ea_t} + u_{1t} \quad (3)$$

$$ln\, Q_{d_t} = \beta_{21} + \alpha_{22} lnP_{eh_t} + \beta_{22} lnP_{ea_t} + \beta_{23} lnP_{G_t} + \beta_{24} lnV_t + \beta_{25} lni_t + \beta_{25} lnY_t + u_{2t} \quad (4)$$

Sendo que, para ambos os modelos de oferta e de demanda estimados, o uso de forma *duplo-log* permite a obtenção direta das elasticidades. Para o modelo de demanda, para o Brasil, também é testada uma variável *dummy* para testar se o coeficiente de paridade preço igual a 0,7 (70%) é significativo para o mercado brasileiro[15].

[15] Para testar se esse coeficiente técnico é significativo, ou seja, apresenta uma mudança no comportamento do consumidor em relação ao preço do etanol frente a gasolina ser menor que 0,7 no consumo de combustível, atribuiu-se 1 para paridade preço menor ou igual a 0,7. Como é discutida na literatura, o consumidor teria uma tendência a optar por demandar etanol ao invés de gasolina quando essa relação se verifica.

Para estimar[16] o sistema de equações simultâneas (3) e (4), utiliza-se assim como em Rask (1998) e Luchansky e Monks (2009) regressão em dois estágios (MQ2E)[17]. O uso de MQ2E, de acordo com Luchansky e Monks (2009), resolve o problema da endogeneidade entre preços e quantidade do etanol. A estimativa dos valores esperados para os preços e quantidades do etanol utilizando MQ2E requer o uso de "mudança de fatores", ou variáveis que influenciam no preço independente da quantidade (e vice-versa). Assim os valores ajustados de Q^O, Q^D e P_{eh} foram calculadas com base em todas as variáveis exógenas (ou "instrumentos") em ambas as equações.

Portanto, os instrumentos exógenos nas equações (3) e (4) são P_{CA}, P_A, S_{ea}, P_{ea}, P_G, V, Y e i enquanto Q^O, Q^D e P_{eh} são sempre tratados como endógenos. Ressaltando, novamente, que para ambas as equações de oferta e demanda, o *log* natural de cada uma das variáveis foram calculados de forma a obter um modelo *duplo-log*, e que o modelo *duplo-log* é útil porque os coeficientes da regressão fornecem estimativas diretas das elasticidades.

Segundo Orellano, Souza e Azevedo (2013) modelos de estimação de demanda usando dados agregados apresentam um problema de identificação, uma vez que os dados sobre vendas e preços observados correspondem a pontos de equilíbrio de mercado. Isto é, nesses modelos, o pesquisador tem que enfrentar um clássico problema de endogeneidade, uma vez que os preços são variáveis explicativas correlacionadas com o termo de erro da regressão. Uma forma de contornar essa situação é utilizar métodos de variáveis instrumentais por meio de MQ2E, a qual torna os parâmetros identificáveis ao utilizar deslocadores da oferta como variáveis instrumentais para os preços, e deslocadores de demanda como controles.

3.3 Fonte de dados

Os dados possuem periodicidade mensal e referem-se ao período de janeiro de 2012 a dezembro de 2016, para o Brasil e suas regiões. Além de usar dados mais atuais em relação aos estudos presentes na literatura, o presente estudo analisa também a produção (oferta) de etanol hidratado, assim a base de dados fica limitada a

[16] Para realizar as estimações utilizou-se o *software Stata 12*.
[17] Termo em inglês "*two-stage least squares* (2SLS)".

disponibilidade de informações referente a esta variável, que passou a ser disponibilizada pela ANP somente a partir de 2012 para produção com periodicidade mensal.

Desta forma, as variáveis dependentes em estudo, quantidade ofertada e demandada, foram obtidas junto à ANP, sendo, respectivamente, a quantidade produzida (Q^O) e a quantidade vendida (Q^D) em todas as unidades da federação, de etanol hidratado em metros cúbicos. A quantidade ofertada de etanol anidro em metros cúbicos (S_{ea}), refere-se à produção nas regiões brasileiras. Assim como, o preço do etanol hidratado por metro cúbico (P_{eh}), preço do etanol anidro por metro cúbico (P_{ea}) e o preço da gasolina por metro cúbico (P_G), referem-se aos preços médios para o Brasil e para as regiões obtidas junto à ANP.

Cabe destacar que as demais variáveis são usadas tanto para o Brasil como para as regiões, de modo que servem como *proxy* para as estimações a nível regional visto que não se tem disponível informações específicas para cada região, a saber: a variável número de veículos (V) corresponde ao número total de licenciamento de veículos leves (automóveis e comerciais leves) na Associação Nacional de Produtores de veículos Automotores (ANFAVEA); A variável renda (Y) refere-se ao Produto Interno Bruto (PIB) mensal, em milhões de R$, obtida no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEADATA), sendo disponibilizado pelo Banco Central do Brasil (BACEN); O preço da cana-de-açúcar (P_{CA}), em R$/tonelada, é oriundo da União dos produtores de bioenergia (UDOP), que teve como fonte primária a Organização de plantadores de cana-de-açúcar do Centro-Sul do Brasil (ORPLANA) e a União da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA) e refere-se ao valor pago ao produtor em contratos negociados no Conselho de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (CONSECANA); E, por fim, a variável preço do açúcar (P_A) é o valor em R$ por saca de 50Kg, sendo este um indicador do açúcar Cristal do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

As variáveis monetárias foram deflacionadas pelo deflator Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) do BACEN, transformadas em termos reais de dezembro de 2016.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A estimação dos modelos de oferta e de demanda para o etanol hidratado (equações 3 e 4, respectivamente), utilizando MQ2E, é realizada primeiramente para o Brasil e posteriormente para as regiões brasileiras. Assim na Tabela 1, apresentada a seguir, estão dispostos os modeles de oferta e de demanda para o Brasil, sendo estimado o modelo sem instrumentalização, via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), e com instrumentos.

Para o modelo de demanda foi testado, como mencionado na seção 3, o uso do coeficiente de paridade preço (PP) por parte do consumidor ao optar pelo consumo de combustível, para verificar se esse é um parâmetro significativo para a decisão do consumidor de optar por comprar etanol em detrimento do produto substituto, a gasolina, quando a relação de PP/consumo é mais atrativa ao etanol (preço do etanol custar até 70% do preço da gasolina).

Como pode ser observado na Tabela 1, apresentada a seguir, tanto para o modelo de oferta quanto para o modelo de demanda, as elasticidades preço se tornam mais elásticas após a instrumentalização (colunas 2 a 4), ou seja, a magnitude do impacto no preço do etanol hidratado em relação a oferta e a demanda se torna maior quando o problema da endogeneidade é corrigida, realizando a estimação com o uso do estimador de MQ2E, com erros padrões robustos.

Para o modelo de oferta, após a instrumentalização (colunas 2 a 4), são utilizados três diferentes períodos para o defasamento do preço do etanol hidratado (Peh), dado que o ciclo de produção do etanol pode ter variações de acordo com a decisão do produtor perante as variações de preço, assim utiliza-se, respetivamente, 1, 3 e 12 meses, que implicam em variações na significância de alguns parâmetros, ou seja, algumas variáveis possuem uma relação mais significativa de acordo com o tempo para explicar as variações na produção (oferta), mesmo assim a magnitude da elasticidade-preço da oferta apresentou certa estabilidade (variando de 4,84 a 5,86).

Assim, para Peh_{t-1}, pode-se verificar que a oferta de etanol hidratado possui uma relação positiva, estatisticamente significativa, com o seu preço e com a oferta de etanol anidro, e negativa com o preço do açúcar e da cana-de-açúcar, não sendo significativa para o último. O preço da cana-de-açúcar se torna significativo com um período maior de defasamento (3 e 12 meses), enquanto o preço do açúcar passa a ter uma relação positiva, no entanto deixa de ser significativo.

Tabela 1 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para o Brasil

Variáveis	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**
a. Modelo de Oferta				
Constante	-17,48***	-34,44***	-28,81**	-33,19
	(5,5140)	(9,4687)	(13,5703)	(25,6321)
lnPeh (t_{-1})	2,68***	5,17***		
	(0,7171)	(1,3579)		
lnPeh (t_{-3})			4,84**	
			(2,0707)	
lnPeh (t_{-12})				5,86
				(4,0185)
lnPca	-0,48	-0,89	-1,83**	-4,64*
	(0,7128)	(0,7619)	(0,9276)	(2,7446)
lnPa	-0,22	-0,59**	0,08	1,18
	(0,2106)	(0,2915)	(0,2935)	(0,7459)
lnSea	0,99***	1,03***	0,89***	1,14***
	(0,471)	(0,0528)	(0,0517)	(0,1189)
VI	Não	Sim	Sim	Sim
Obs	59	59	57	48
R-squared	0,9296	0,9172	90,28	0,9133
F-stat	141,40***			
Wald		719,34***	544,46***	524,18***
b. Modelo de Demanda				
Constante	-15,13***	-15,52***	-17,23***	-15,66***
	(4,9270)	(4,6735)	(4,7989)	(4,8676)
lnPeh	-2,90***	-3,33***	-3,46***	-3,47***
	(0,3424)	(0,7308)	(0,7269)	(0,7666)
lnPea	0,46***	0,59**	0,81**	0,83**
	(0,1567)	(0,2626)	(0,3328)	(0,3504)
lnPg	3,50***	3,93***	4,27***	4,38***
	(0,5171)	(0,7610)	(0,8643)	(0,8816)
lnV	-0,1422	-0,14	-0,12	
	(0,1000)	(0,0912)	(0,0926)	
lnY	1,58***	1,52***	1,37***	1,07***
	(0,2960)	(0,2751)	(0,2944)	(0,0626)
lni	0,53***	0,51***	0,47***	0,56***
	(0,0807)	(0,0829)	(0,0935)	(0,0626)
DPP	-0,04	-0,05		
	(0,0260)	(0,0333)		
VI	Não	Sim	Sim	Sim
Obs	60	60	60	60
R-squared	0,9272	0,9260	0,9184	0,9154
F-stat	124,49***			
Wald		833,78***	779,37***	729,16***

Nota: A coluna 1 representa a estimação MQO utilizando Peh_{t-1} para o modelo de oferta; As colunas 2, 3 e 4 representam as estimações utilizando MQ2E com Peh_{t-1}, Peh_{t-3} e Peh_{t-12}, respectivamente, para o modelo de oferta. Erros-padrão robustos entre parênteses. ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

A resposta da oferta a variações no preço é altamente elástica e positiva (5,17; 4,84 e 5,86), estando de acordo com a teoria, ou seja, aumentos no preço remetem a

variações positivas na oferta, no entanto ela deixa de ser estatisticamente significativa para Peh_{t-12}, logo a decisão da quantidade a ser produzida é explicada pelo preço de etanol hidratado para o ciclo de 1 e 3 meses de produção (dado os modelos estimados). Assim, a variação na quantidade ofertada de etanol e a elasticidade-preço reflete que a oferta reage positivamente a aumentos no preço do etanol no período anterior. Logo, considerando a interpretação mecânica, a elevação em um ponto percentual no preço do etanol no período anterior, leva a um aumento de 5,17% na oferta de etanol no período atual, mantendo-se as demais variáveis constantes.

Para o modelo de demanda, os coeficientes das variáveis analisadas, com exceção da variável que indica a variação na frota de veículos (ln*V*), são estatisticamente significativos, demonstrando que existe uma relação importante destes com a explicação da variação na demanda de etanol hidratado. De modo que, a demanda apresenta uma relação negativa com o preço de etanol e com *V* (porém não significativa para a segunda), e positiva com o preço do etanol anidro, preço da gasolina, renda e taxa de câmbio. Cabe destacar que a *dummy* para PP não foi estatisticamente significativa, indicando que para o período analisado a demanda de etanol hidratado não apresenta uma mudança de padrão significativa com relação ao seu preço estar abaixo de 70% do preço da gasolina, indicando que a preferência dos consumidores não gira em torno desse parâmetro para a média dos consumidores brasileiros.

Quanto a elasticidade-preço da demanda, além de negativa e estatisticamente significativa, é altamente elástica (-3,33; -3,46 e -3,47), indicando que aumentos no preço do etanol hidratado refletem em redução na quantidade demandada. A resposta a variações no preço da gasolina e do etanol anidro, indicam que aumentos nesses acarretam em uma maior demanda pelo etanol hidratado, indicando que são bens substitutos do etanol hidratado, sendo que o preço da gasolina é mais sensível a alterações no preço, dado que a elasticidade-preço cruzada é altamente elástica (3,93; 4,27 e 3,38). Cabe destacar ainda, que a elasticidade-renda também é elástica (1,52; 1,37 e 1,07), indicando que o etanol hidratado pode ser considerado um bem normal, ou seja, variações positivas na renda levam a aumentos mais do que proporcionais (visto que o coeficiente é maior que a unidade) na demanda.

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os resultados para as regiões brasileiras. Cabe lembrar que o padrão de preços, consumo e produção vistos na seção 2 evidenciam que existem diferenças regionais, logo é de se esperar diferentes comportamentos por parte de consumidores e produtores quando os mercados são analisados a nível regional.

Tabela 2 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para as regiões brasileiras

Variáveis	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**
a. Modelo de Oferta					
Constante	-27,34	-64,43**	-1,86	2,94	-20,91
	(19,8224)	(28,5924)	(17,65)	(3,44)	(15,7713)
lnPeh (t_{-1})					3,98
					(2,6652)
lnPeh (t_{-3})	6,93**		1,30	0,72	
	(3,0101)		(2,3765)	(2,3535)	
lnPeh (t_{-12})		9,82***			
		(3,7755)			
lnPca	-4,31**	-4,38***	-1,25	-0,004	-0,99
	(1,8002)	(0,9880)	(1,1180)	(1.0469)	(1,4996)
lnPa	-0,03	1,36***	-0,33	-0,05	-0,81*
	(0,6290)	(0,3050)	(0,5253)	(0,2351)	(0,4409)
lnSea	0,30***	0,84***	0,72***	0,77***	0,78***
	(0,1002)	(0,1017)	(0,0937)	(0,0506)	(0,0958)
VI	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Obs	57	48	44	57	56
R-squared	0,6661	0,7083	0,6486	0,9392	0,8724
Wald	24,80***	90,22***	82,70***	472,38***	90,95***
b. Modelo de Demanda					
Constante	-9,08**	-15,68**	-18,41**	-14,88***	-23,08***
	(4,1230)	(6,8366)	(7,5550)	(5,0419)	(8,0399)
lnPeh	-2,06***	-6,51***	-6,42***	-3,99***	-5,50***
	(0,3587)	(0,8635)	(0,8259)	(1,1371)	(0,8125)
lnPea	0,28*	0,39**	0,05	1,14**	1,02***
	(0,1573)	(0,1653)	(0,2023)	(0,5488)	(0,2924)
lnPg	1,55***	6,98***	7,64***	5,05***	7,36***
	(0,4078)	(0,5974)	(0,7298)	(1,4961)	(1,3184)
lnV	-0,14	-0,04	-0,03	-0,17*	0,21*
	(0,0929)	(0,1032)	(0,1491)	(0,1008)	(0,1210)
lnY	1,77***	1,39***	1,19***	1,41***	0,55
	(0,2803)	(0,3547)	(0,3678)	(0,3647)	(0,5365)
lni	0,67***	0,63***	0,69***	0,47***	0,45***
	(0,0850)	(0,0832)	(0,1213)	(0,0986)	(0,1445)
VI	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Obs	60	60	45	60	56
R-squared	0,9315	0,9257	0,9126	0,8843	0,8374
Wald	981,76***	672,46	337,40***	531,21***	663,17***

Nota: (1) modelo de oferta para a região Centro-Oeste com Peh_{t-3}; (2) modelo de oferta para a região Nordeste com Peh_{t-12}; (3) modelo de oferta para a região Norte com Peh_{t-3}; (4) modelo de oferta para a região Sudeste com Peh_{t-3}; (5) modelo de oferta para a região Sul com Peh_{t-1}. Para escolha de qual defasamento utilizar para cada região utilizou-se testes de ajustamento do modelo estimado, apresentando-se apenas o modelo com melhor ajuste estatístico para cada região. Erros-padrão robustos entre parênteses. ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para o modelo de oferta, Tabela 2 (painel a), a elasticidade-preço da oferta demonstrou-se positiva para todas as regiões, estando de acordo com a teoria, porém apenas para as regiões Centro-Oeste (segunda região em volume de produção) e Nordeste são estatisticamente significativos, sendo que apenas para região Sudeste o coeficiente é inelástico. Essa relação para região Sudeste, pode decorrer por esta ser a maior produtora, logo a decisão de produção também decorre do preço das outras regiões para as quais ela fornece, dado que a variação na produção não apresenta grande sensibilidade a variações no preço do etanol hidratado exclusivamente nessa região. A oferta de etanol hidratado apresentou relação negativa com o preço da cana-de-açúcar, em todas as regiões, indicando que aumentos no preço do insumo levam a redução na quantidade produzida, sendo essa relação significativa para as regiões Centro-Oeste e Nordeste.

Outro resultado interessante está relacionado a variação na oferta de etanol anidro, visto que essa apresenta relação positiva e significativa para todas as regiões, indicando que mesmo o produtor optando por produzir etanol hidratado ou anidro estes estão relacionados de forma que o aumento na produção se dá conjuntamente, e dado que o coeficiente é menor que a unidade, os aumentos na produção de etanol anidro tem sido proporcionalmente maiores que no etanol hidratado, para o período analisado.

Ainda para o modelo de oferta, o preço do açúcar apresentou relação contraditória entre as regiões, dado que é um bem concorrente do etanol na produção, visto que o produtor pode optar por produzir etanol ou açúcar, para a região Nordeste, esse apresentou relação positiva, elástica e estatisticamente significativa, contrário do esperado, porém essa região junto com a região Norte são as que apresentam menor volume de produção de etanol. Para as demais regiões o preço do açúcar se mostrou negativo, indicando que aumentos no preço deste levam a redução na oferta, efeito substituição, visto que pode se tornar mais atrativo ao produtor optar por produzir açúcar em detrimento do etanol, no entanto apenas para a região Sul essa relação mostrou-se estatisticamente significativa.

No modelo de demanda, para todas as regiões, a elasticidade-preço mostrou-se altamente elástica e significativa, sendo negativamente relacionada com a demanda de etanol hidratado, ou seja, aumentos no preço leva a redução na quantidade demandada, *ceteris paribus*. Cabe destacar que as regiões com maior volume de produção e também consumo, Sudeste e Centro-Oeste, são também as que apresentaram as menores elasticidades preço, ou seja, nessas regiões a sensibilidade a variações nos preços possuem magnitudes menores (-3,99 e -2,06, respectivamente) em relação as demais regiões. Esse resultado demonstra que variações de mesma magnitude nos preços do

etanol hidratado de todas as regiões levam a uma redução na demanda proporcionalmente maior nas regiões Nordeste, Norte e Sul, estando essa relação ligada, como discutido na seção 2, que na média essas regiões apresentam preços maiores em comparação as demais.

Com relação as demais variáveis, o preço do etanol anidro, o preço da gasolina, a renda e a taxa de câmbio apresentaram relação positiva e estatisticamente significativa (apenas a elasticidade-preço cruzado do etanol anidro para a região Norte e da elasticidade-renda para a região Sudeste que não se mostraram significativos) com a demanda de etanol hidratado. Para a variação na quantidade de veículos vendidos, o comportamento se mostrou divergente, sendo negativo para quatro regiões, porém significativo apenas para uma delas (Sudeste), tendo relação positiva e significativa apenas para a região Sul. Os resultados para as elasticidades preço cruzada do etanol anidro e da gasolina mostram que estes são bens substitutos em relação ao etanol hidratado, sendo que a demanda é mais sensível a variações no preço da gasolina, demonstrando que atualmente os produtos são substitutos muito próximos. O resultado referente a elasticidade-renda, indica que o etanol é um bem normal e que a elasticidade-renda demonstra que a demanda de etanol hidratado é elástica a renda.

Comparando o resultado dos dois modelos, oferta e demanda, para o caso do Brasil (Tabela 1), pode-se inferir que a resposta da produção de etanol a variações nos preços se dá no lado da oferta, pois a elasticidade-preço da oferta apresentou magnitude superior (mais elástica) que a elasticidade-preço da demanda. A resposta elástica da demanda de etanol a preços implica em choques de oferta que são transmitidos para mais reduções na quantidade vendida do que a aumentos de preços.

Com relação a contribuição dos resultados do presente estudo, pode-se discutir, por exemplo, o impacto de políticas públicas realizadas ou que possam vir a ser planejadas para beneficiar o setor de etanol no Brasil. Assim, hipoteticamente, uma política que fosse de imposição de um imposto sobre os combustíveis derivados do petróleo, visando incentivar o uso de combustíveis renováveis e amenizar a emissão de gases de efeito estufa no Brasil, que incidissem em aumento de 2 pontos percentuais sobre o preço da gasolina, mantendo-se as demais variáveis constantes, resultariam, considerando os resultados para o período analisado, para o modelo do Brasil (coluna 3 da Tabela 1), em um aumento de cerca de 8,5% na demanda por etanol, com aumento mais significativo em termos percentuais nas regiões Norte e Sul (Tabela 2) que apresentaram elasticidades-preço cruzada mais sensíveis (maior magnitude) a variação no preço da gasolina.

5 CONCLUSÃO

Este artigo analisou a oferta e a demanda por etanol hidratado no Brasil e nas suas cinco regiões (Centro-Oeste, Norte, Nordeste, Sudeste, Sul) para o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2016, levando em consideração as características específicas do mercado nacional de combustíveis. Foi estimado um modelo econométrico (MQ2E), a partir de um modelo de equações simultâneas, no qual variáveis instrumentais foram usadas para controlar a endogeneidade na análise da oferta e da demanda.

Dado o contexto e cenário atual do mercado de etanol, pode-se afirmar que o Brasil além de ser o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo, possui uma tecnologia de produção de etanol que está madura, e que a produção de etanol está perfeitamente consolidada, podendo crescer ainda na substituição da gasolina caso a volatilidade dos preços do petróleo continue.

Os resultados para o Brasil, mostraram que das variáveis utilizadas para avaliar a evolução na oferta e demanda do etanol hidratado, o preço do etanol hidratado, o preço da cana-de-açúcar, o preço do açúcar, a oferta de etanol anidro, o preço do etanol anidro, o preço da gasolina, o número de veículos, a renda e a taxa de câmbio, apenas a variável número de veículos não apresentou influencia estatisticamente significativa para explicar as flutuações e o crescimento que vem ocorrendo no mercado de etanol em nenhum dos modelos estimados. A elasticidade-preço da oferta de etanol hidratado mostrou-se positiva e altamente elástica, sendo estatisticamente significativa, indicando que a oferta responde positivamente a aumentos de preço no período anterior. A elasticidade-preço da demanda de etanol hidratado e a elasticidade-preço cruzada do etanol anidro e da gasolina, para o período analisado, demonstraram que a demanda de etanol hidratado é elástica ao preço, ao preço da gasolina e inelástica ao preço do etanol anidro. Por fim, comparando os dois modelos, oferta e demanda, identifica-se que a resposta da produção de etanol a variações nos preços se dá no lado da oferta.

A nível regional, para o modelo de oferta, verificou-se que a oferta de etanol hidratado tem uma resposta elástica a preço e positiva para quase todas as regiões, sendo que apenas a região Sudeste a resposta é inelástica, mesmo essa sendo a principal região produtora, o que demonstra uma menor sensibilidade a variações no preço do etanol hidratado nessa região. A elasticidade-preço cruzada da cana-de-açúcar mostrou-se negativa, em todas as regiões, indicando que aumentos no preço do insumo levam a

redução na quantidade ofertada. No modelo de demanda, para todas as regiões, a elasticidade-preço mostrou-se elástica e significativa, sendo negativamente relacionada com a demanda de etanol hidratado. As regiões com maior volume de produção e também consumo, Sudeste e Centro-Oeste, apresentaram os menores coeficientes de elasticidade-preço, ou seja, nessas regiões a sensibilidade a variações nos preços possuem magnitudes menores em relação as demais regiões, sendo que na média essas regiões apresentam preços menores em comparação as demais. O resultado para a elasticidade-preço cruzada do etanol anidro e da gasolina mostram que estes são bens substitutos em relação ao etanol hidratado, sendo a demanda deste mais sensível a variações no preço da gasolina. A elasticidade-renda, indicou que o etanol pode ser considerado um bem normal.

A contribuição do presente estudo está em analisar o mercado de etanol de forma conjunta e fornecer coeficientes de elasticidades robustos para este setor, além de estudar as elasticidades da oferta e da demanda de etanol hidratado para as regiões brasileiras, possibilitando assim, com base nos modelos estimados, as elasticidades calculadas podem auxiliar na definição e criação de cenários alternativos, como na simulação de um novo imposto sobre combustíveis fósseis. Portanto, a presente análise pode ser usada para criar cenários futuros, tais como, avaliar respostas a mudanças na produção de etanol oriunda de aumentos na demanda (interna e externa), alterações na renda dos consumidores e mudanças de preços da gasolina e do açúcar. Assim, as estimativas podem ser um importante instrumento para a formulação de políticas públicas.

Finalmente, como possíveis limitações do trabalho, pode-se apontar a necessidade de limitar o período de análise devido a disponibilidade de dados mensais pela ANP para a oferta de etanol a partir de 2012, assim como a necessidade de utilizar variáveis *proxy* para os modelos regionais, visto a falta de informações específicas em alguns casos. Cabe destacar ainda, o potencial do Brasil no mercado de etanol e da dinâmica deste setor, fica o desafio para novos estudos complementares a este em que se possa avaliar tal dinâmica frente ao mercado externo e também compará-la com o mercado de etanol de outros países, como os Estados Unidos, que também dedicam forças para que o etanol se torne uma fonte alternativa de energia (combustível) renovável amplamente empregada no mundo, contribuindo assim, com a diminuição do efeito estufa e consequentemente com o bem-estar das futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Associação Nacional do Produtores de Veículos Automotores. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/ >. Acesso em junho de 2017.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em junho de 2017.

BACEN. Banco Central do Brasil. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br>. Acesso em julho de 2017.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

CARDOSO, L. C. B.; BITTENCOURT, M. V. L. Mensuração das elasticidades-preço da demanda, cruzada e renda no mercado de etanol brasileiro: um estudo usando painéis cointegrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 765-784, 2013.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da ESALQ/USP. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/ >. Acesso em junho de 2017.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 2005/06 a 2014/15 de cana-de-açúcar. Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: junho de 2017.

CONSECANA. Conselho de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo. Disponível em: < http://www.consecana.com.br/>. Acesso em: junho de 2017.

FARINA, E.; VIEGAS, C.; LACERDA, P.; GARCIA, C. Mercado e Concorrência do Etanol. In: SOUSA, E. L. de e MACEDO, I. de C. (Org.). **Etanol e Bioeletricidade**: A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Editora LUC, p. 226-311, 2010.

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

FREITAS, L. C.; KANEKO, S. Ethanol demand under the flex-fuel technology regime in Brazil. **Energy Economics**, v. 33, n. 6, p. 1146-1154, 2011(a).

FREITAS, L. C.; KANEKO, S. Ethanol demand in Brazil: Regional approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 5, p. 2289-2298, 2011(b).

GREENE, W.H. **Econometric Analysis**, Prentice Hall, 7th Edition, 2008.

IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em junho de 2017.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados**. vol.24 no.68, São Paulo, 2010.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 78, p. 15-21, 2007.

LUCHANSKY, M. S.; MONKS, J. Supply and demand elasticities in the US ethanol fuel market. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 403-410, 2009.

MACEDO, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MAISTRO, M. C. M.; ASAI, G. A. Álcool Combustível: Do carro a álcool ao carro flex. **Jornal de Piracicaba**, 2006. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_artigo_flex.pdf>. Acessado em junho de 2016.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic theory**. Oxford University Press, New York, 1995.

MASIERO, G.; LOPES, H. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. **Revista Brasileira de Política Internacional**. Brasília, v. 51, n. 2, 2008.

MELO, A. S.; SAMPAIO, Y. S. B. 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.

MELO, A. S.; SAMPAIO, Y. S. B. Uma Nota Sobre o Impacto do Preço do Açúcar, do Etanol e da Gasolina na Produção do Setor Sucroalcooleiro. **Revista Brasileira de Economia**, v. 70, n. 1, p. 61-69, 2016.

ORELLANO, V. F.; SOUZA, A. N.; AZEVEDO, P. F. Elasticidade-preço da demanda por etanol no Brasil: como renda e preços relativos explicam diferenças entre estados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 699-718, 2013.

ORPLANA. Organização de plantadores de cana do Centro-Sul do Brasil. Disponível em: < http://www.orplana.com.br/novosite/>. Acesso em junho de 2017.

PETROBRÁS BIOCOMBUSTÍVEIS, 2016. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/petrobrasbiocombustivel/etanol/>. Acesso em março de 2016.

RANDOW, B. M. V.; FONTES, R.; MATTOS, L. B.; ALVES FILHO, E. Os determinantes da oferta e da demanda de etanol nos estados brasileiros. **Revista Brasileira de Energia**, v. 19, n. 2, p. 287-319, 2013.

RASK, K. N. Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993. **Energy Economics.** 20, 325–345, 1998.

RFA. Renewable Fuels Association. Disponível em: < http://ethanolrfa.org/>. Acesso em agosto de 2017.

SANTOS, G. F. Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach. **Energy Economics**, v. 36, p. 229-240, 2013.

SANTOS, G. R. (Org.) **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016. 315 p.

SANTOS, G. R.; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P. F. A.; RISSARDI JUNIOR, D. J. A Agroindústria canavieira e a produção de etanol no Brasil: características, potenciais e perfil da crise atual. In: SANTOS, G. R. (Org.) **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016. 315 p.

UDOP. União dos produtores de bioenergia. Disponível em: <http://www.udop.com.br/>. Acesso em junho de 2017.

UNICA. União da Indústria de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em junho de 2017.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.

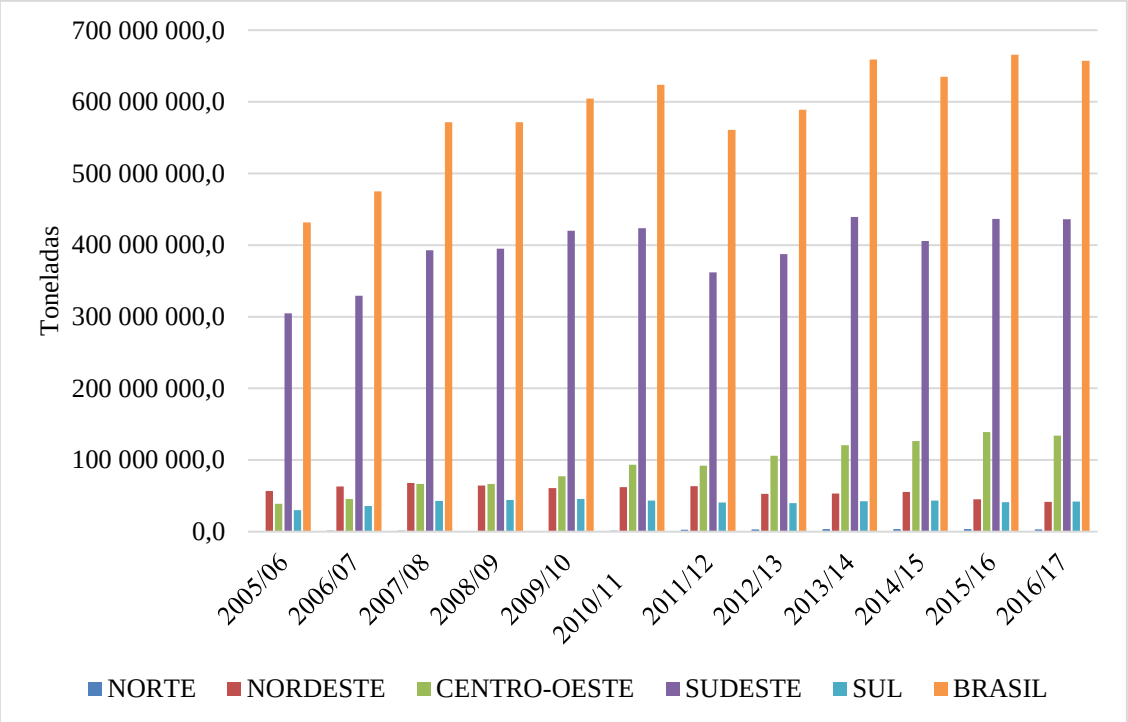
APÊNDICE A

Quadro 1 - Divisão regional do território brasileiro

Região	**Estados**
CENTRO-OESTE	Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO) e Distrito Federal (DF)
NORTE	Roraima (RR), Rondônia (RO), Acre (AC), Amazonas (AM), Amapá (AP), Pará (PA) e Tocantins (TO)
NORDESTE	Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)
SUDESTE	Minas Gerais (MG), Espírito Santo (ES), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP)
SUL	Paraná (PR), Santa Cataria (SC) e Rio Grande do Sul (RS)

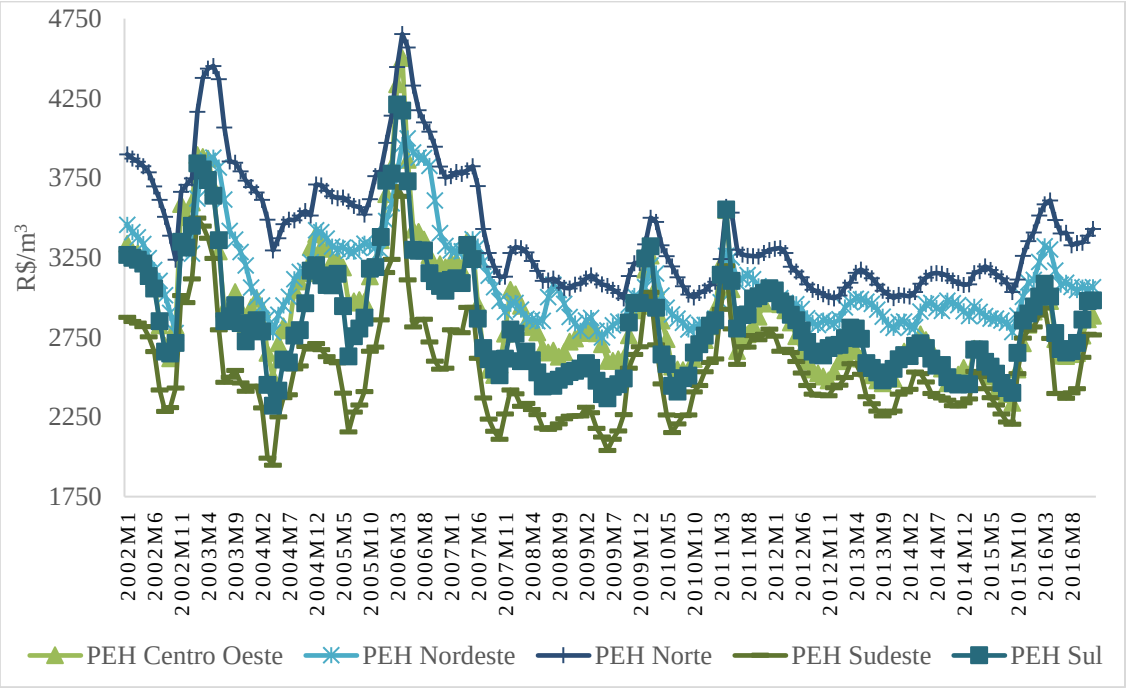
Fonte: Elaboração própria com base no IBGE

Gráfico 4 - Produção de cana-de-açúcar



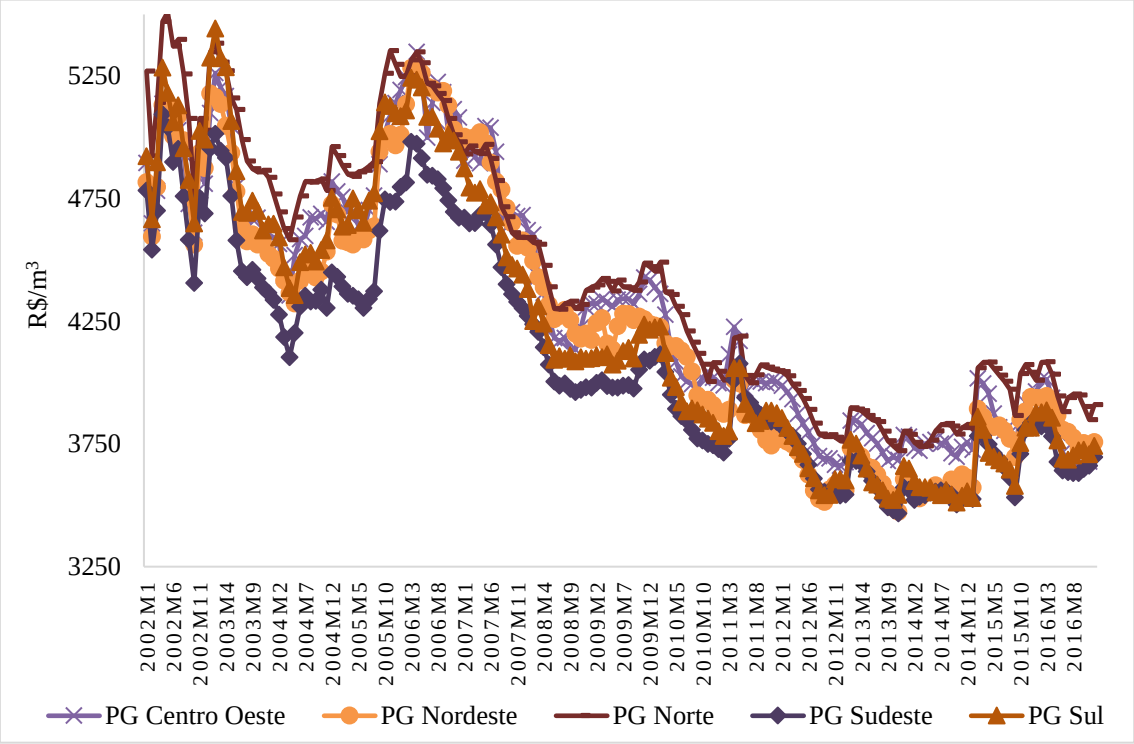
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da CONAB (2017)

Gráfico 5 - Série histórica do preço do etanol hidratado (PEH) para as regiões brasileiras (2002-2016)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da ANP (2017)
Nota: Preço em valores reais – dezembro de 2016 (deflacionado pelo deflator IGPDI-BACEN).

Gráfico 6 - Série histórica do preço da gasolina (PG) para as regiões brasileiras (2002-2016)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da ANP (2017)
Nota: Preço em valores reais – dezembro de 2016 (deflacionado pelo deflator IGPDI-BACEN).

ENSAIO 2: PRODUÇÃO DE ETANOL E SUA RELAÇÃO COM O PREÇO DE COMMODITIES AGRÍCOLAS

1 INTRODUÇÃO

A comunidade científica mundial tem demonstrado constante preocupação com a questão do meio ambiente, seja pelos impactos indesejáveis que as atividades econômicas têm causado, visto as mudanças climáticas oriundas da emissão de gases de efeito estufa, ou pela possível mudança da matriz energética mundial, devido à futura escassez das fontes fósseis de energia que são à base da matriz atual[18], apontando para a necessidade de fontes energéticas renováveis.

Embora os biocombustíveis tenham ganhado força como fontes alternativas de energia renovável, principalmente devido aos benefícios ambientais, é preciso levar em consideração, conforme Ferreira Filho e Horridge (2014), que a expansão mundial da produção de biocombustíveis tem causado preocupações sobre seu impacto na segurança alimentar e no abastecimento de alimentos, devido à competição por terras agrícolas. Os pesquisadores têm ligado esta competição a aumentos recentes nos preços dos alimentos. França e Gurgel (2014) destacam que a discussão acerca dos biocombustíveis torna-se ainda mais acalorada quando vem à tona a questão da segurança alimentar. É unânime que a evolução nos últimos dez anos, principalmente entre 2005 e 2008, dos preços dos alimentos gera preocupação, visto que, na última década foi observada uma ascensão dramática nos preços dos alimentos ao redor do globo[19].

Neste contexto, o etanol combustível é o principal biocombustível a nível global. Logo se torna necessário aprofundar os estudos relacionados ao mercado de etanol, visto que este tem se tornado um tema importante nas discussões da matriz energética mundial, visando analisar como os efeitos do aumento da produção estão relacionados às alterações nos preços das *commodities* agrícolas. Para assim, contribuir em apontamentos para a construção de políticas públicas que levem em consideração não só questões ambientais, mas também políticas preocupadas com o aumento dos preços das *commodities*

[18] De acordo com dados da *International Energy Agency* (IEA, 2017), aproximadamente 87% do combustível consumido no mundo é de origem fóssil: carvão mineral, petróleo e gás natural.

[19] Um estudo patrocinado pelo Banco Mundial publicado em maio de 2014 explora o vínculo entre a alta nos preços dos alimentos e as convulsões sociais e instabilidade política em várias nações, tais como Camarões, África do Sul, Tunísia, Argentina, Paquistão e Somália (FRANÇA; GURGEL, 2014).

alimentares, para que estas sejam mais eficientes quanto ao apoio à produção e comercialização do etanol.

De acordo com Cardoso e Bittencourt (2013), conhecer melhor o mercado de etanol, bem como quais os parâmetros da sua demanda de curto e longo prazo, são primordiais para elaboração de políticas públicas, principalmente aquelas ligadas à diminuição de consumo de combustíveis fósseis. Entretanto, a literatura sobre demanda por etanol ainda é reduzida se comparada com a de gasolina, o que era de se esperar por conta da sua importância como substituto à gasolina fora do Brasil, mesmo nos Estados Unidos (EUA), que são os principais consumidores, o *market share* do etanol frente a gasolina, em 2016, foi de 9,84%, de acordo com os dados do USDOE (2017)[20].

O mercado de etanol brasileiro apresenta características e especificidades que o tornam um dos principais no mundo, em termos de produção e potencialidades, ligadas principalmente ao insumo utilizado, a cana-de-açúcar. Em outros mercados, como o dos EUA, de acordo com Luchansky e Monks (2009), a procura crescente de etanol requer a utilização de uma grande quantidade de milho, soja, cana-de-açúcar ou de outras plantas para a produção do etanol. Nesse sentido, Roberts e Schlenker (2013), realizaram estimativas do impacto dos mandatos de etanol nos EUA, sugerindo que estes levariam a um aumento nos preços dos alimentos de cerca de 30% e um aumento da área de produção mundial de 2%, aproximadamente. A transferência de preços ocorre principalmente via a utilização do insumo milho na produção de etanol dos EUA e também pela substituição de outras culturas para a produção de milho, visto o aumento na demanda deste e os subsídios oferecidos pelo governo americano[21].

Embora alguns trabalhos presentes na literatura não tenham encontrado efeito significativo do preço do etanol sobre o preço das *commodities* agrícolas (ZHANG *et al*., 2010; BASTIANIN; GALEOTTI; MANERA, 2016) e outros que apontam que o aumento de preços das *commodities* está relacionado com o preço do petróleo ou que este é que tem influência sobre os preços do etanol (SERRA, 2011; SERRA; ZILBERMAN; GIL, 2011), ainda assim, existe uma literatura empírica que relacionam o aumento dos preços, ou pelo menos parte dele, com a produção de biocombustíveis (ZHANG *et al*., 2009; AL-

[20]*USDOE, Energy Information Administration, Monthly Energy Review, Table 10.4*. Disponível em: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/index.cfm#petroleum>, *Tables 513a-c.; ERS calculations*. Acesso em outubro de 2017.

[21] O aumento da produção de milho nos EUA, assim como a sua destinação, pode ser observado no Gráfico 6 do Apêndice B. Cabe destacar que a parcela de milho destinada a produção de etanol, que era de aproximadamente 3,5% em 1986, atualmente gira em torno de 36% do total de milho produzido nos EUA.

RIFFAI; DIMARANAN; LABORDE'S, 2010; CHAKRAVORTY *et al*., 2010; SERRA *et al*., 2011; KRISTOUFEK; JANDA; ZILBERMAN, 2011; ROBERTS; SCHLENKER, 2013) e é considerando esse efeito que o presente estudo pretende analisar o mercado de etanol e de *commodities* agrícolas (alimentares básicas) de forma a identificar a existência ou não desse efeito de um modo mais amplo, considerando os dois principais *players* do mercado de etanol, para que a partir dos resultados seja possível apontar qual seria o resultado dito socialmente ótimo em termos do impacto e/ou inter-relação desses mercados para a população mundial.

Assim, o ponto central analisado no presente artigo, já apontado como uma possível alternativa por outros estudos[22], é como o etanol brasileiro a base de cana-de-açúcar se encaixa neste contexto, seja pela real redução das emissões de CO2[23] ou pelos benefícios que traria por não ter relação direta com os preços das principais *commodities* alimentares mundiais. A hipótese que norteia este estudo está em afirmar que o etanol brasileiro pode influenciar na redução ou pelo menos auxiliar no controle do atual aumento de preços que acomete as principais *commodities* agrícolas mundiais (milho, trigo, arroz e soja)[24], via redução da demanda de milho para produção de etanol nos EUA.

Para analisar a relação da produção de etanol e os preços das *commodities* agrícolas empiricamente, adota-se a metodologia utilizada por Roberts e Schlenker (2013). Os autores apresentam um modelo de oferta e de demanda para identificar as elasticidades das *commodities* armazenáveis mundiais, onde choques passados são usados como deslocadores de preços exógenos de oferta. No contexto agrícola, choques de produtividade passados alteram os níveis de estoque e os preços futuros das *commodities* agrícolas. As elasticidades estimadas são usadas para avaliar o impacto do Padrão de Combustível Renovável de 2009 dos EUA, sobre os preços das *commodities*, quantidades e excedente do consumidor.

Assim, o foco de estudo está em desenvolver uma sintetização do mercado mundial de etanol, para identificar empiricamente as elasticidades de oferta e de demanda, assim como avaliar a relação da produção mundial com os preços das principais *commodities* agrícolas, alimentares básicas (trigo, arroz, milho e soja), e também com os

[22] Para mais informações a respeito de tais estudos ver Zilberman *et al*. (2012), que realiza uma revisão mais detalhada.
[23] A eficiência energética do etanol brasileiro frente ao americano é reconhecida pela *U.S. Renewable Fuel Standart* (RFS, 2017), instituição responsável pela avaliação da emissão de CO2 oriunda de combustíveis.
[24]Estes produtos representam cerca de 75% do conteúdo calórico da produção de alimentos em todo o mundo (ROBERTS; SCHLENKER, 2013).

preços de *commodities* diretamente ligadas a esse setor (caso do açúcar). Para testar a hipótese de estudo a estratégica empírica a ser adotada será analisar como a produção brasileira e americana se inter-relacionam com o mercado mundial. Assim, além de avaliar a relação da produção mundial com os preços, também se torna possível analisar o efeito e variação nos preços do etanol produzido no Brasil. Logo, delineia-se como problema de pesquisa o seguinte questionamento: Qual a relação da produção de etanol com os preços das principais *commodities* agrícolas mundiais?

Para responder a esse problema de pesquisa este estudo tem o objetivo de estimar as elasticidades de oferta e de demanda para a produção mundial de etanol, a partir da sintetização proposta, utilizando a equivalência calórica na análise das interações entre o mercado de etanol e as principais *commodities* agrícolas. Mais especificamente objetiva-se também: caracterizar o mercado de etanol internacional quanto à produção e a comercialização; e avaliar os resultados obtidos interligando-os com a situação atual do mercado de etanol.

Para tanto, o presente trabalho está estruturado em mais quatro seções, além desta primeira que traz a contextualização, problema de pesquisa e objetivo do presente estudo. A segunda seção contempla uma caracterização do mercado mundial de etanol, em relação a produção e comercialização, e também uma breve revisão de literatura referente as principais e mais recentes contribuições para o mercado de etanol, que servem como referencial analítico para o presente estudo. Na terceira, é desenvolvida a estratégia empírica, calcada em uma fundamentação teórica e formalizada em um modelo econométrico. Posteriormente, na quarta seção, apresenta-se os resultados e as discussões acerca da interação dos mesmos e de possíveis medidas de políticas públicas. E, por fim, na quinta seção, delineiam-se as conclusões.

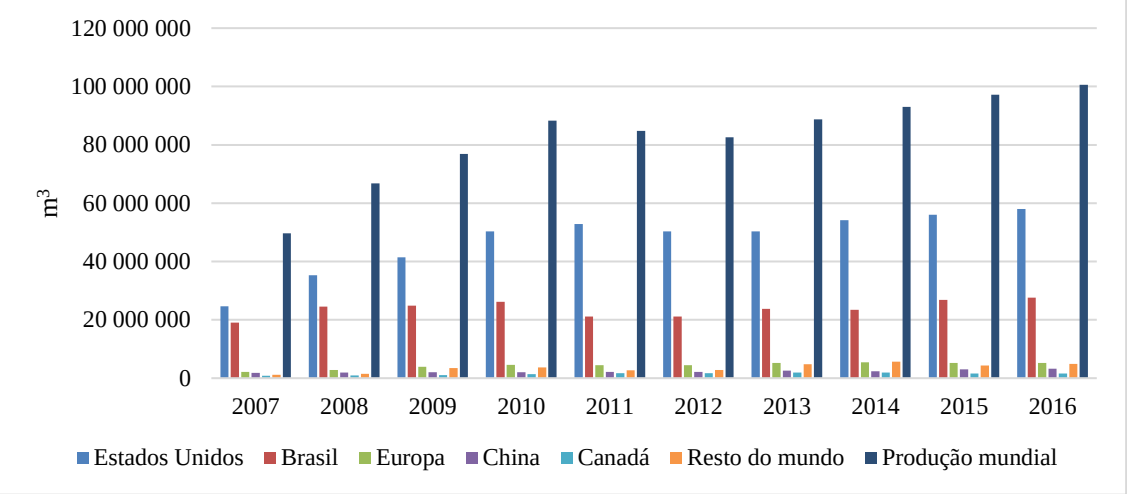
2 O MERCADO DE ETANOL

2.1 Caracterização

O mercado de etanol é liderado pelos EUA e Brasil, que conjuntamente respondem por aproximadamente 85% da produção mundial. Em 2016, conforme dados da *Renewable Fuels Association* (RFA, 2017), a produção de etanol dos EUA, em torno de 58 milhões de metros cúbicos, representou quase 58% da produção mundial (Gráfico 1). Neste mesmo ano, o Brasil foi responsável por cerca de 27%, enquanto a União

Europeia representou pouco mais de 5% do montante total, seguida pela, China (3,18%) e Canadá (1,64%) que foram os outros principais produtores.

Gráfico 1 - Produção mundial de etanol combustível



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da RFA (2017)

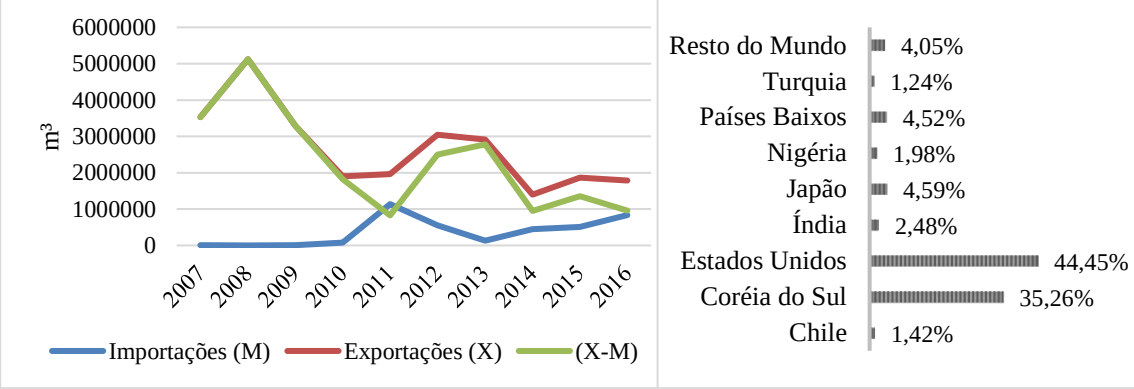
Como pode ser observado no Gráfico 1, o Brasil não tem conseguido acompanhar o crescimento da produção de etanol nos EUA, com isso tem reduzido a sua parcela[25] na produção mundial, que em 2007 era de cerca de 38%, frente a aproximadamente 50% dos EUA, e atualmente o setor brasileiro representa 27,44% da produção mundial, de acordo com os dados da RFA.

Mesmo assim, o principal destino das exportações do Brasil é os EUA, conforme os dados da SECEX (Gráfico 2). No ano de 2016, foram exportados pouco menos de 1,8 milhões de litros de etanol brasileiro, tendo como principais destinos o mercado dos EUA (44,45%) e da Coréia do Sul (35,26%). Porém, pode-se perceber uma tendência decrescente nas exportações brasileiras ao longo dos últimos dez anos, que chegaram a cerca de 5,1 bilhões de litros em 2008, assim como, um crescimento das importações, que em 2007 eram eventuais, cerca de 4,1 milhões de litros, em 2016 chegam a aproximadamente 832 milhões de litros de etanol (Gráfico 2). O crescimento nas importações se deve, em parte, a política de preços elevados que foi adotada, ao longo dos últimos anos, pela principal responsável na produção e importação de combustíveis do Brasil (Petrobrás), o que acarretou em perda de mercado da estatal. Além disso, não

[25] *Market share* reduziu 10 pontos percentuais em 10 anos.

existe uma alíquota (zero) sobre a importação de etanol, o que facilita a entrada do produto americano que com os subsídios de produção se torna mais competitivo.

Gráfico 2 - Exportações e Importações 2007-2016 (m^3) e os destinos das exportações de etanol do Brasil em 2016 (percentual)



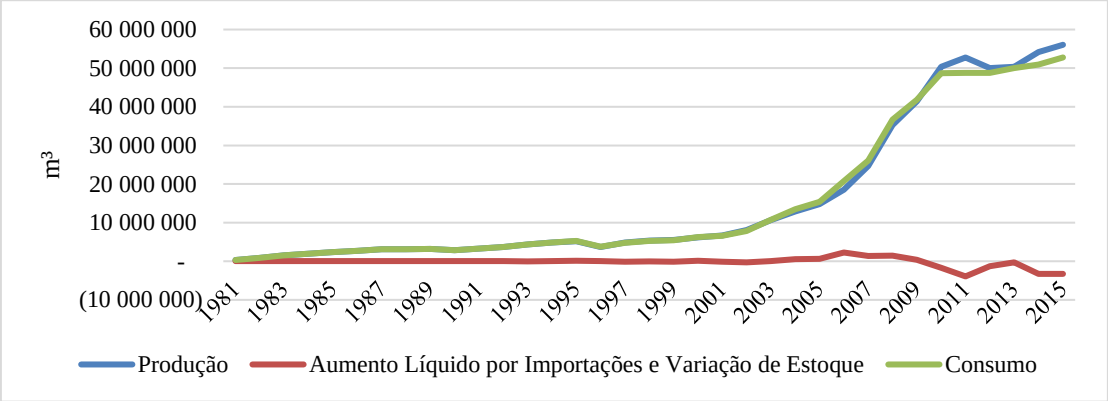
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da SECEX/MDIC (2017)

Nos EUA, o etanol é produzido a partir do milho, sendo utilizada na última safra cerca de 36% da produção total de milho, conforme dados da *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017). A demanda global de etanol está crescendo, principalmente pelo surgimento de novos mercados. Em 2015, os EUA exportaram cerca de 3,5 bilhões de litros para mais de 50 países, mesmo com os preços mais baixos do petróleo bruto em 2015, os volumes de exportação mostraram-se crescentes em relação aos três anos anteriores (Gráfico 4), demonstrando que as propriedades de octanagem e oxigenação do etanol misturado à gasolina está cada vez mais valorizado no mercado internacional.

A demanda no mercado interno dos EUA, maior consumidor mundial, tem aumentado significativamente, chegando a um consumo de cerca de 52,8 milhões de metros cúbicos em 2015 (Gráfico 3), quase quadruplicando a demanda nos últimos dez anos (em 2005 o consumo foi de aproximadamente 15,4 milhões de m^3).

O aumento na demanda do mercado interno dos EUA tem sido acompanhado quase proporcionalmente a oferta interna, que passou a ser superior a demanda a partir do ano de 2010 (Gráfico 3). Um ponto de destaque é que a rápida expansão na produção e consumo de etanol, a partir de 2005, coincide com o período de significativos aumentos nos preços das *commodities* agrícolas alimentares básicas (ocorrida de 2005 a 2008), como destacado anteriormente.

Gráfico 3 - Produção, consumo e comércio de etanol combustível dos EUA

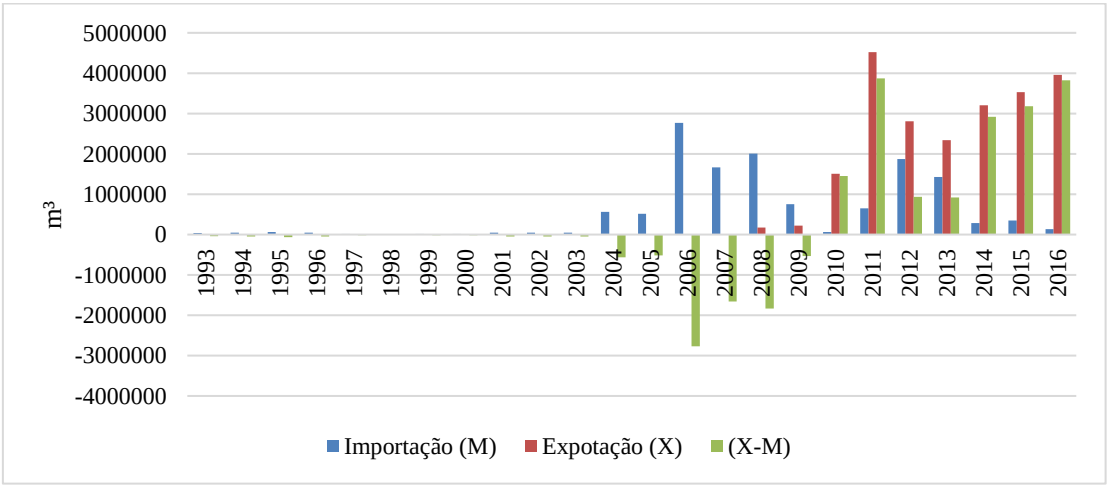


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do USDOE (2017)

O crescimento na produção, como pode ser observado no Gráfico 3, proporcionou aos EUA passar de maior importador (deixando o posto atualmente para o Canadá) a líder mundial de exportação de etanol (anteriormente posição ocupada pelo Brasil) em menos de dez anos, exportando em 2016 mais do que o dobro da quantidade exportada pelo Brasil (que exportou 1,8 milhões de m³ no mesmo período de acordo com o Gráfico 2), como pode ser observado no Gráfico 4, apresentado a seguir.

Neste contexto, os EUA estão atendendo a uma inesperada demanda do Brasil. Com a alta do preço do açúcar, as usinas brasileiras têm destinado uma fatia maior de cana-de-açúcar para sua produção, em detrimento do etanol. Os preços do milho dos EUA estão baixos, dado o aumento da oferta, criando uma janela de oportunidade para carregamentos de etanol para o Nordeste do Brasil, principalmente nos períodos da entressafra da cana-de-açúcar (RFA, 2017).

Gráfico 4 - Exportação e Importação de etanol nos EUA

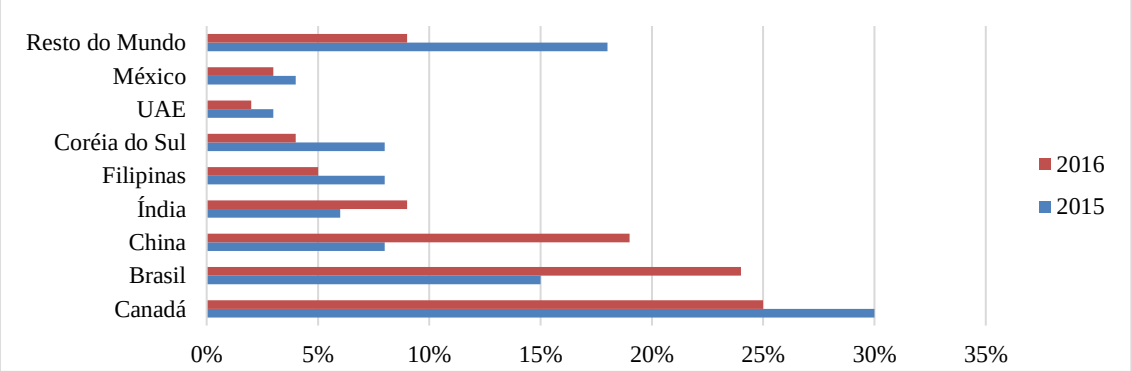


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do USDOE (2017)

Segundo informações do USDA (2017), a safra de milho dos EUA em 2015 foi recorde, aumentando a disponibilidade da matéria-prima no país, acarretando em preços competitivos do etanol. Dessa forma, se tornou possível atender a demanda internacional do produto, inclusive à crescente demanda no Brasil, aumentando de 15% para 24%, entre 2015 e 2016, respectivamente, a sua parcela de demandante do total de etanol exportado pelos EUA (Gráfico 5), especialmente na entressafra, quando a oferta de etanol é menor.

Em 2016, os EUA exportaram um número estimado de aproximadamente 4 milhões de metros cúbicos (o equivalente a cerca de 4 bilhões de litros) de etanol (Gráfico 4), estabelecendo-se como uma potência no comércio mundial de etanol, contribuindo para o aumento da produção e se consolidando como o maior exportador. O principal destino do etanol americano foi o Canadá, recebendo 25% do total exportado pelos EUA. Em seguida, Brasil (com 24%), China (19%), Índia (9%), Filipinas (5%) e Coreia do Sul (4%) foram outros importantes destinos (Gráfico 5). Além do Brasil, a China apresentou um grande aumento na demanda pelo etanol americano, passando de 8% em 2015 para 19% em 2016, importando aproximadamente 760 mil metros cúbicos de etanol americano.

Gráfico 5 - Destinos da exportação de etanol dos EUA (2015-2016)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da RFA (2017) (*U.S. Department of commerce, U.S. Census Bureau, Foreign Trade Statistics*)[26]

A produção de etanol com baixo custo, subsidiada pelo governo, e com excesso de oferta, possibilitou aos EUA liderar a indústria de etanol no mundo, não só na produção e utilização, mas também na exportação de etanol. A RFA destaca ainda, que o sucesso

[26] Disponível em: <http://ethanolrfa.org/issues/exports-and-trade/>. Acesso em outubro de 2017.

no mercado mundial tem ajudado a garantir e sustentar o crescimento da produção nacional de etanol.

2.2 Referencial analítico

Entre os trabalhos mais relevantes como aporte analítico para o presente estudo, relacionado ao mercado de etanol, cabe destacar Rask (1998), Gardner (2007), Chagas, Toneto-Júnior e Azzoni (2008), Searchinger *et al*. (2008), Luchansky e Monks (2009), Pacini e Silveira (2011), Rojas (2011), Anderson (2012), Timilsina *et al*. (2012), Zilberman *et al*. (2012), Roberts e Schlenker (2013), França e Gurgel (2014) e Bastianin, Galeotti e Manera (2016).

Rask (1998) procurou explorar as características econômicas do mercado de etanol nos EUA, em que muitos níveis de subsídios dos estados foram reduzidos[27], mas incentivos significativos ainda permanecem, incluindo o federal de US$ 0,54 por galão. O modelo de oferta e de demanda do mercado de etanol são estimados, de modo que a determinação simultânea das curvas de oferta e demanda foi realizada usando Mínimos Quadrados em dois estágios (MQ2E). Os resultados destacam a importância dos incentivos estaduais e federais e mandatos, juntamente com os custos de transporte, para fabricação de etanol a partir do milho como uma alternativa atraente para a gasolina.

Gardner (2007) desenvolve um modelo de mercado vertical de etanol, derivados, e milho que é usado para analisar se os produtores de milho preferem o pagamento de subsídio (em dólar) do governo para ser gasto diretamente sobre subsídios de milho (embora pagamentos deficientes) em vez de um subsídio sobre o etanol feito de milho. Como resultados, encontraram-se efeitos na discriminação de preços dado que o subsídio de etanol gera redução de preços do etanol e do milho usado para alimentação animal, porém aumenta o preço do milho usado para a alimentação humana e para exportação. Isso permite aos produtores de milho e etanol aumentar os seus excedentes de produção conjuntos acima do valor total dos subsídios pagos. Quanto ao custo social (peso morto) desses subsídios, o subsídio de etanol ou mandatos não gerou ganhos sociais líquidos, pelo contrário, geraram perdas de bilhões de dólares anualmente.

Chagas, Toneto-Júnior e Azzoni (2008) analisaram o impacto da expansão da produção de cana-de-açúcar no Brasil sobre o preço da terra e dos alimentos, estimando

[27] Embora exista um subsídio nacional uniforme para o uso de etanol, cada estado tem seu próprio nível de subsídio suplementar que variou de zero a mais de US$ 0,40 por galão.

um modelo de correção de erros (VEC) para testar essa relação. Os resultados do teste de causalidade de Granger apontaram que não existe precedência temporal da produção de cana-de-açúcar sobre o preço da terra, mas sim o contrário, ou seja, é o preço da terra que causa (no sentido de Granger) a produção de cana-de-açúcar. A relação de longo prazo identificada pelo VEC estabelece uma trajetória comum entre essas duas variáveis, mas estatisticamente não significativa. Assim, os autores concluem que o preço da terra é exógeno em relação à produção de cana-de-açúcar e ao preço de alimentos.

Searchinger *et al*. (2008) usaram um modelo agrícola mundial para estimar as emissões causadas pela mudança no uso da terra. Os resultados mostram que o etanol à base de milho, em vez de produzir uma redução quase duplica as emissões de gases de efeito estufa, aumentando de 30 anos para 167 anos os efeitos dos gases de efeito estufa. Biocombustíveis a partir de gramíneas, se cultivadas em terras usadas para a produção de milho dos EUA, aumentam as emissões em 50%. Este resultado levanta preocupações sobre grandes mandatos de biocombustíveis, visto que a maioria dos estudos anteriores apontam que a substituição de gasolina por biocombustíveis reduz a emissão de gases de efeito estufa, porque os biocombustíveis sequestram carbono através do crescimento da matéria-prima. De acordo com os autores, estas análises não conseguiram levar em consideração as emissões de carbono que ocorrem quando agricultores respondem a preços mais altos convertendo florestas e pastagens para novas áreas com cultivo de grãos para produção de biocombustíveis.

Luchansky e Monks (2009) analisaram o mercado de etanol dos EUA, o qual de acordo com os autores, cresceu de cerca de 1,2 bilhões de litros em 1997 para quase 5 bilhões de litros em 2006, esse aumento na demanda de etanol e o crescimento derivado da demanda do milho tem contribuído para aumentos de preços dos alimentos. Os autores estimaram simultaneamente, utilizando MQ2E, a oferta e a demanda do mercado de etanol em nível nacional, usando dados mensais, entre 1997-2006. Como resultados os autores encontraram uma resposta inelástica da produção de etanol às mudanças no preço do etanol, assim mudanças na demanda, talvez devido a alterações na proibição de MTBE, vai se traduzir principalmente em mudanças nos preços do etanol em vez de produção de etanol, pelo menos no curto prazo. Outro resultado interessante da estimativa é que a produção de etanol não teve relação estatisticamente significativa com os preços do milho. Do lado da demanda, a elasticidade-preço da demanda de etanol (-1,61 a -2,92) sugere que os preços do etanol têm um efeito muito forte sobre a quantidade demandada.

Pacini e Silveira (2011) analisaram o mercado de combustíveis na Suécia e no Brasil, após a introdução dos veículos *flex-fuel*. A introdução dos veículos *flex-fuel*, desde 2003, tornou possível para os motoristas brasileiros escolher entre etanol ou gasolina, dependendo dos preços relativos e economia de combustível. Na Suécia, as frotas de *flex-fuel* foram introduzidas em 2005. Ao examinar os preços e os dados de demanda, no caso do Brasil os autores evidenciaram que o etanol tem sido o combustível mais rentável no Brasil, mas não para todos os estados, sendo que os consumidores optaram por etanol, mesmo quando este não era a escolha econômica ótima.

Na Suécia, Pacini e Silveira (2011) encontraram um comportamento diferente quando a queda dos preços da gasolina fez o etanol antieconômico no final de 2008. Os autores sugerem que em um contexto de expansão internacional de biocombustíveis, a exemplo do etanol na Suécia, novos mercados poderiam experimentar o comportamento do consumidor diferente do Brasil: a demanda cai rapidamente com a redução de diferenças de preços entre etanol e gasolina. Ao mesmo tempo, a crescente demanda de etanol e a falta de um mercado internacional com vários produtores de biocombustíveis poderiam levar a preços internos mais elevados no Brasil. Uma vez que a curva limite é atravessada, o consumidor pode reagir deslocando à demanda para o uso de gasolina.

Rojas (2011) fez uma avaliação dos fatores que afetaram a demanda e a oferta no mercado de etanol combustível nos EUA de 1983-2009, com especial atenção aos efeitos da política federal sobre a oferta de etanol. No geral, os resultados para as diferentes regressões utilizadas mostram que é difícil chegar a uma conclusão do efeito que as políticas federais dos últimos 20 anos tiveram sobre o mercado de etanol dos EUA. A relação entre o preço real de venda da gasolina e do etanol mostrou-se positiva. As estimações comprovam que os preços da gasolina e do etanol são bens substitutos nos mercados de combustíveis dos EUA. Ao contrário das expectativas, o PIB per capita mostrou-se negativamente correlacionado com o preço do etanol em todas as equações com exceção apenas do modelo na forma reduzida, em que a quantidade de etanol consumido é a variável dependente. Portanto, não há nenhuma evidência clara para afirmar se o etanol é um bem normal ou um bem inferior no mercado dos EUA.

Anderson (2012) estimou as preferências das famílias dos EUA por etanol como substituto da gasolina. O modelo teórico desenvolvido liga a forma da curva de demanda de etanol para a distribuição subjacente entre as famílias e sua vontade de pagar por etanol. O modelo foi estimado usando técnicas de variáveis instrumentais e dados de muitas estações de abastecimento de varejo. Os resultados mostraram que um aumento

no preço do etanol em relação à gasolina de $0,10 por galão leva a uma diminuição de 12-16% na quantidade de etanol demandado. Os resultados sugerem que as preferências por etanol são heterogêneas e que uma fração substancial das famílias estão dispostas a pagar um prêmio pelo combustível.

Timilsina *et al*. (2012) analisaram os impactos de longo prazo da expansão em larga escala de biocombustíveis sobre a mudança do uso do solo, a oferta de alimentos e os preços, para a economia global e para vários países ou regiões usando um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) multi-país e multi-setorial, aumentado com um módulo de uso da terra explícita e setores detalhados de biocombustíveis. Os resultados mostram que uma expansão da produção de biocombustíveis para cumprir as metas existentes ou ainda mais elevadas em vários países reduziria ligeiramente o PIB a nível global, mas com efeitos mistos entre países ou regiões. A realocação de terras significativa ocorreria com decréscimos notáveis em terras de floresta e de pastagem em alguns países. A expansão de biocombustíveis iria provocar uma diminuição moderada na oferta mundial de alimentos e mais diminuições significativas nos países em desenvolvimento como Índia e África Subsaariana. Os produtos ligados às matérias-primas (açúcar, milho e sementes oleaginosas) iriam experimentar aumentos significativos em seus preços em 2020, mas outras alterações de preços são pequenas.

Zilberman *et al*. (2012) analisaram as principais conclusões de linhas alternativas de pesquisa sobre a relação entre os mercados de alimentos e combustíveis relacionados a introdução de programas de biocombustíveis nos EUA, Brasil, União Europeia (UE) e outros países. Os autores concluem que a introdução de biocombustíveis pode afetar os preços dos alimentos, mas o impacto varia entre culturas utilizadas na produção e locais. Além disso, verificou-se que a introdução de biocombustíveis tem um impacto menor sobre os preços de *commodities* alimentares quando a produção de biocombustíveis não está concorrendo com culturas alimentares para os recursos como a terra e a água. Assim, os autores defendem que a expansão do etanol de cana-de-açúcar no Brasil e os biocombustíveis de segunda geração cultivados em terras não agrícolas possuem um impacto menor sobre os preços dos alimentos do que a expansão do etanol de milho. Argumentam ainda que a introdução do etanol de milho tem um impacto significativo sobre os preços das *commodities* alimentares, mas menos relevante do que o impacto do crescimento econômico e aproximadamente da mesma ordem de grandeza, embora na direção oposta, como o do impacto da introdução de organismos geneticamente modificados.

Roberts e Schlenker (2013) apresentam um novo quadro para identificar as elasticidades das *commodities* armazenáveis mundiais (milho, trigo, arroz e soja), onde choques passados de rendimentos são usados como deslocadores de preços exógenos de oferta. No contexto agrícola, choques de rendimentos passados alteram os níveis de estoque e os preços futuros das *commodities* agrícolas. As elasticidades estimadas são usadas para avaliar o impacto dos subsídios aos mandatos[28] de etanol nos EUA sobre os preços das *commodities* alimentares, quantidades e excedente do consumidor. Os resultados indicam que os preços mundiais de alimentos devem aumentar em cerca de 30 por cento e o excedente do consumidor global de consumo de alimentos deve diminuir em 155 bilhões de dólares anualmente. Em um segundo cenário, se um terço das calorias de biocombustíveis for reciclado como matéria prima para o gado, o aumento de preço previsto é da escala de aproximadamente 20 por cento. Enquanto a demanda por *commodities* é extremamente inelástica, a resposta ao preço é silenciada por uma resposta de oferta significativa que é obscurecida, se os preços futuros não são instrumentados. A expansão resultante do crescimento da área de produção agrícola potencialmente compensa os benefícios dos biocombustíveis visto a redução das emissões de CO2.

França e Gurgel (2014) analisam o efeito da implementação do Padrão de Combustíveis Renováveis Norte-Americano (*Renewable Fuel Standard* - RFS[29]), política de estímulo à produção de biocombustíveis nos EUA, sobre o uso da terra no Brasil e sobre os preços de alimentos. Quatro cenários distintos foram simulados, através de modelagem em EGC. Os resultados indicaram que o mandato acarreta em uma expansão das áreas de culturas no Brasil em detrimento de áreas de pastagens e de florestas. O efeito sobre os preços de alimentos mostrou-se significativo e relativamente distribuído entre os países.

Por fim, Bastianin, Galeotti e Manera (2016) analisaram a relação de curto e longo prazo entre os preços do etanol, milho, soja, trigo e gado para Nebraska, EUA, utilizando a causalidade Granger. Os autores não encontraram evidências de que o etanol causa no sentido Granger variações nos preços dos alimentos. Por outro lado, os resultados sugerem que o etanol é causado no sentido Granger e pode ser previsto pelos retornos do milho.

[28] O mandato de etanol dos EUA, avaliado pelos autores, exige que cerca de 5 por cento da produção mundial calórica de milho, trigo, arroz e soja seja utilizado para a produção de etanol.
[29] O RFS requer que uma quantidade crescente de combustíveis renováveis seja misturada no combustível para transporte vendido nos EUA.

Como pode-se perceber os resultados dos estudos descritos anteriormente, apesar da utilização de diferentes metodologias, apontam em sua maioria para uma relação positiva entre a produção de biocombustíveis e o aumento de preços dos alimentos. Esse efeito é verificado principalmente para a produção de etanol nos EUA, dado a utilização do milho como insumo. No entanto não se pode afirmar que esse efeito se verifique para o etanol brasileiro produzido a partir da cana-de-açúcar. Assim, o presente estudo procura apresentar uma sintetização do mercado mundial de etanol para avaliar individualmente Brasil e EUA, e também de forma conjunta, verificando a relação da produção de etanol com o preço das principais *commodities* alimentares mundiais.

3 METODOLOGIA

A presente seção contempla o modelo proposto para estimar as elasticidades de oferta e de demanda para a produção mundial de etanol utilizando a equivalência calórica na análise das interações entre o mercado de etanol e as principais *commodities* agrícolas.

3.1 Modelo de oferta e de demanda: teoria, especificação e identificação

Para avaliar a relação entre o aumento na produção e consumo de etanol com as alterações nos preços das *commodities* agrícolas mundiais e na renda dos consumidores propõe-se um modelo que sintetiza o mercado mundial, utilizando os EUA e o Brasil na constituição desse mercado, como visto (na seção 2) os dois países representam conjuntamente cerca de 85% da produção mundial de etanol além de serem os principais consumidores, sendo assim uma parcela representativa do mercado mundial. Desta forma, é possível estimar as elasticidades de oferta e de demanda de etanol e suas relações com as *commodities* alimentares ligadas a esse mercado.

Para possibilitar a sintetização e interligação com o mercado agrícola adota-se a metodologia utilizada por Roberts e Schlenker (2009, 2013), transformando as quantidades das principais *commodities* mundiais em equivalentes calóricos alimentares, utilizando os fatores de conversão de Williamson e Williamson (1942), e posteriormente agregando-os (quantidades e preços). Os produtos agrícolas analisados são o milho, trigo, arroz, soja e o açúcar.

De acordo com Roberts e Schlenker (2013), a agregação das culturas facilita uma análise simples de produtos alimentares básicos em escala mundial. A razão prática para

a agregação é que os preços para as *commodities* tendem a variar de forma sincronizada, o que impede a identificação de várias elasticidades de preços cruzados. A correlação dos preços ao longo do tempo sugere também que as possibilidades de substituição são grandes o suficiente para que os resultados agregados caracterizem razoavelmente bem os mercados analisados.

3.1.1 Modelo teórico

A fundamentação do modelo teórico está centrada em dois pontos principais: o primeiro relacionado aos aspectos e características do funcionamento do mercado mundial de etanol e o segundo na relação deste com o mercado de *commodities* agrícolas. O primeiro ponto pode ser fundamentado com base na teoria da renda agrícola de Von Thunen (1966), e também na discriminação de preços (PHLIPS, 1983)[30] e *dumping* recíproco (BRANDER; KRUGMAN, 1983), ligados a formação de preços no mercado de etanol[31]. O segundo consiste em encontrar uma forma adequada para analisar o mercado de etanol e relacioná-lo com o mercado de *commodities*, a partir da utilização de uma única medida calórica[32], a teoria que pode caracterizar a oferta e a demanda, assim como os estoques, visto que os produtos em estudo podem ser armazenados, é a teoria do armazenamento competitivo[33].

A abordagem da teoria do armazenamento competitivo permite analisar o mercado de *commodities* agrícolas de modo que o armazenamento é uma característica de todas as *commodities* que são consideradas na análise. Conforme Roberts e Schlenker (2013), além de poder caracterizar a oferta, demanda e os estoques essa teoria ajuda a explicar como choques aleatórios facilitam a identificação das elasticidades de oferta e demanda. Ela também permite a substituição do consumo ao longo do tempo através da transferência de mercadorias de períodos de escassez relativa a períodos de relativa abundância.

---

[30] Uma abordagem completa da discriminação de preços em *commodities* armazenáveis pode ser encontrada em Phlips (1983), capítulo 6 "*Storable commodities*".

[31] O presente estudo não tem o objetivo de discutir de forma mais ampla esses conceitos ligados a formação de preços no mercado de etanol, além destes já estarem consolidados pelos trabalhos citados, deste modo é dado uma maior ênfase ao segundo ponto, ligado a interação dos mercados que está relacionado de forma mais direta a contribuição proposta por este trabalho.

[32] As informações a respeito dos equivalentes calóricos, das *commodities* a serem utilizadas, podem ser observados em Williamson e Williamson (1942).

[33] Termo em inglês "*Theory of competitive storage*". O armazenamento (ou estoque) permite a substituição do consumo ao longo do tempo através da transferência de mercadorias de períodos de relativa abundância a períodos de relativa escassez.

Roberts e Schlenker (2013) apresentam a identidade dessa abordagem, a qual caracteriza o consumo como mais estável do que a produção, e os preços sendo mais estáveis e mais autocorrelacionados do que seriam caso não tivesse a oportunidade de armazenamento. O equilíbrio em cada período não requer um preço onde a oferta no período atual é igual à demanda de consumo no período atual, mas um preço onde a quantidade consumida c_t é igual à oferta z_t no início do período menos a quantidade armazenada (denotada por x_t).

$$c_t = z_t - x_t \tag{1}$$

O modelo de maximização do lucro dos produtores agrícolas, criado por Scheinkman e Schechtman (1983) e Bobenrieth H. *et al*. (2002), passa basicamente por duas decisões. A primeira é quanto armazenar e transportar para o próximo período, x_t, dado que armazenamento tem custo convexo $\varphi(x_t)$. O montante não armazenado $z_t - x_t$ é consumido e dá aos consumidores utilidade $u(z_t - xt)$. A segunda decisão é quanto "esforço" λ_t colocar em uma nova produção (quanto dedicar para produção), que está sujeito a um choque climático aleatório multiplicativo (independente e identicamente distribuída) w_{t+1} que é desconhecido no momento da decisão do quanto produzir (plantar e/ou processar). A produção na época futura é $s_{t+1} = \lambda_t w_{t+1}$, onde w_{t+1} é a distribuição de rendimentos, que são impactados por choques exógenos de tempo. O custo de produção $g(\lambda_t)$ é assumido como convexo, como a terra tem qualidade heterogênea, ou seja, se torna progressivamente mais caro produzir[34].

De acordo com Bellman (1957), uma estratégia ótima apresenta a propriedade segundo a qual, a despeito das decisões tomadas para se atingir um estado particular num certo estágio, as decisões restantes a partir deste estado devem constituir uma estratégia ótima. Assim, a equação de Bellman para o problema de maximização social pode ser expressa por:

$$v(z_t) = \max_{x_t \lambda_t} \{u(z_t - x_t) - \emptyset(x_t) - g(\lambda_t) + \delta E[v(z_{t+1})]\} \; sujeito \; a \tag{2}$$

$$z_{t+1} = x_t + \lambda_t w_{t+1}$$

$$x_t \geq 0, \qquad z_t - x_t \geq 0, \qquad \lambda_t \geq 0$$

[34] Além da heterogeneidade da terra, de acordo com a teoria da renda agrícola de Von Thunen (1966), a intensidade de cultivo decresce com a distância ao centro do mercado.

Neste caso, o resultado dito socialmente ótimo é alcançado quando os produtores e armazenistas competitivos alcançam um equilíbrio[35] de forma otimizada entre o custo marginal do esforço em relação ao preço esperado e o custo marginal de armazenar produtos agrícolas contra a mudança esperada nos preços. Portanto, níveis crescentes de armazenamento são rentáveis nos anos em que a disponibilidade z_t é suficientemente grande, o que faz com que o preço atual se torne baixo. Ao mudar a disponibilidade atual para o próximo período, os preços atuais sobem e o preço esperado no próximo período reduz. Esse processo continua até o ponto em que o preço futuro descontado é igual ao preço atual. Do mesmo modo, os preços aumentam se a disponibilidade de z_t reduzir.

O resultado chave deste modelo, de acordo com Roberts e Schlenker (2013), é que ele implica que choques exógenos são perfeitamente divididos entre consumo e ajustes dos estoques atuais. Logo, choques aleatórios deslocam aleatoriamente z_t. Assim, os choques climáticos negativos exogenamente reduzem z_t aumentando o preço e reduzindo assim o consumo, e vice-versa para choques climáticos positivos (i), que captura o movimento ao longo da curva de demanda. Os mesmos choques climáticos negativos também reduzem estoques, reduzindo o consumo e aumentando o preço em períodos subsequentes (ii). E quando os níveis de armazenamento são baixos e o preço esperado no próximo período é alto, os produtores aumentam a quantidade produzida λ_t (iii), capturando o movimento ao longo da curva de oferta.

3.1.2 Modelo proposto

O modelo proposto, que tem por base a contribuição de Roberts e Schlenker (2013), pode ser expresso em sua forma geral como:

$$\text{Oferta: } log(s_t) = \propto_s + \beta_s\, log(\, E[p_t/p_{t-1}] + \gamma_s w_t + f(t) + u_t \qquad (3)$$

$$\text{Demanda: } log\,(c_t) = \alpha_d + \beta_d \log(p_t) + g(t) + X(t) + v_t \qquad (4)$$

[35] Em um equilíbrio competitivo Scheinkman e Schechtman (1983) mostram que: (i) consumo $c_t = z_t - x_t$ é estritamente crescente em z_t; (ii) armazenamento x_t é fracamente crescente em z_t; e (iii) esforço λ_t é fracamente decrescente em z_t.

As quantidades ofertadas e demandadas são indicadas por s_t e c_t, respectivamente; p_t é o preço, o que equivale a disposição marginal a pagar para a quantidade demandada; os parâmetros β_s e β_d são elasticidades de oferta e demanda; w_t é o choque de rendimento induzido pelo clima aleatoriamente; α_s e α_d são interceptos; e *f(t)* e *g(t)* capturam tendências temporais na oferta e demanda, decorrentes da mudança tecnológica, crescimento da população e da renda. A variável $X(t)$ representa as demais variáveis específicas de cada país que são introduzidas no modelo[36]. O u_t e v_t são erros, outros fatores não observados que influenciam na oferta e na demanda.

Dado que os produtores tomam decisões sobre a produção antes de um choque climático de um ano e baseado na expectativa dos preços futuros, assim como outros choques de oferta ou de demanda podem ocorrer, a oferta está ligada ao preço esperado. Logo, na equação de oferta utiliza-se o preço esperado (defasado em um período safra) de um ano de antecedência para medir com mais precisão as expectativas dos produtores.

Com relação à endogeneidade, Roberts e Schlenker (2013) destacam que os preços são variáveis endógenas-chave sobre o lado direito da oferta e demanda. O cerne do problema de identificação é estimar as elasticidades de oferta e de demanda dado que as mudanças não observadas na oferta e demanda (u_t e v_t) influenciam os preços através da identidade de equilíbrio. Sem corrigir a endogeneidade dos preços, a elasticidade da oferta seria negativamente tendenciosa, uma vez que mudanças positivas de oferta não observadas (u_t) tenderia a reduzir o preço, tudo o mais constante, criando uma correlação negativa entre u_t e preço. Da mesma forma a elasticidade da demanda seria positivamente tendenciosa, visto que mudanças positivas de demanda não observadas (v_t) tenderiam a aumentar o preço, tudo o mais constante, criando uma correlação positiva entre v_t e o preço. Se os deslocadores de oferta e demanda não observado u_t e v_t são correlacionados, vieses podem ir em qualquer direção.

A estratégia, seguindo a metodologia adotada por Roberts e Schlenker (2013), para estimar as elasticidades de oferta e de demanda, é utilizar o método de variáveis instrumentais (VI) por meio da regressão em dois estágios (MQ2E), corrigindo a endogeneidade, usando choques simultâneos de rendimento e/ ou defasados para identificar a demanda e a oferta. A *proxy* de linha de base para choques de rendimento induzida pelo clima são desvios de tendências específicas de cada país no rendimento da produção das *commodities* ligadas ao insumo do etanol. Para isso, converte-se as

[36] As variáveis específicas utilizadas no presente estudo são apresentadas no final desta subseção.

produções anuais, das *commodities* analisadas, específicas de cada país em calorias alimentares e as agrega para obter um choque de oferta mundial. A premissa é que os desvios de tendências de rendimento são exógenos em grande parte devido ao clima ser aleatório.

Os desafios com a utilização de instrumentos baseados em clima são obter e vincular dados meteorológicos em escala mundiais de áreas de cultivo e encontrar algumas variáveis meteorológicas fortemente associados com a produtividade[37]. Desta forma, o primeiro estágio das regressões relaciona o *log* natural dos preços e do *log* natural de preços futuros contra choques de rendimento corrente e defasados w_t até defasagem *k.* Logo, as regressões do primeiro estágio são descritas como:

$$\log(p_t) = \pi_{d0} + \sum_{k=0}^{k-1} \mu_{dk} w_{t-k} + \epsilon_{dt} \quad (5)$$

$$\log(E[p_t|t-1] = \pi_{s0} + \sum_{k=0}^{k} \mu_{sk} w_{t-k} + \epsilon_{st} \quad (6)$$

No segundo estágio, estima-se as equações estruturais (3) e (4), substituindo o valor do preço previsto do primeiro estágio no lugar de preços reais. Para a equação de oferta (3) foi regredido o *log* natural da quantidade da produção contra o preço futuro previsto $\log(\widehat{E[p_t|t-1]}$ e o deslocador de oferta no período atual w_t, mais a variável ligada ao insumo, no modelo geral utiliza-se o preço das *commodities* agrícolas (P_{Al}), doravante denominada preço dos alimentos. As variáveis excluídas do primeiro estágio para o segundo estágio da equação de oferta são choques de rendimento defasados $w_{t,t}$ = *t-k-1, ..., t-1* que servem como instrumentos. Assim, o modelo de regressão de oferta de dois estágios pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\log(s_t) = \alpha_s + \beta_s \log(E[p_t|t-1] + \lambda_{so} w_t + \log P_{Al} + u_t \quad (7)$$

A variável utilizada para integrar os mercados e ser possível analisar a variação no preço dos alimentos (P_{Al}) pode ser decomposta da seguinte forma:

$$P_{Al_t} = r_{1t} Pac_{cal} + r_{2t} Pm_{cal} + r_{3t} Ps_{cal} + r_{4t} Par_{cal} + r_{5t} Ptr_{cal} \quad (8)$$

[37] Os choques de rendimento são calculados em proporção da produção por país e a área dedicada para cultivar cada cultura usada como insumo na produção de etanol.

As variáveis de preço são: preço por caloria de açúcar (Pac_{cal}); preço por caloria de milho (Pm_{cal}); preço por caloria de soja (Ps_{cal}); preço por caloria de arroz (Par_{cal}); e preço por caloria de trigo (Ptr_{cal}). Em que, o preço dos alimentos (P_{Al_t}) é definido pela parcela calórica produzida (r) no período t ($\sum_{i=5} r_{it} = 1$) de cada *commodity*[38] multiplicado pelo seu respectivo preço calórico (US$/calorias alimentares). Assim, tem-se um preço médio por caloria, utilizado com base em uma dieta com consumo médio de 1800 calorias diárias[39], logo, a variável P_{Al_t} é o preço médio, em US$, gasto com alimentação de uma pessoa ao ano com consumo diário de 1800 calorias alimentares, considerando as cinco *commodities* analisadas no presente estudo.

No caso da equação de demanda (4), é regredido o *log* natural da quantidade consumida contra o preço previsto, o preço de um bem substituto, a gasolina (P_g) e uma variável que capta a variação da renda em termos *per capita* (PIB_{pc}). A variável excluída do primeiro para o segundo estágio da equação de demanda são os choques de oferta $w_{t,t} = t\text{-}k, \ldots, t$. Assim, a equação que representa a regressão do modelo de demanda de dois estágios, estimada, é:

$$\log\ (s_t - x_t) = \alpha_d + \beta_d \widehat{\log(P_t)} + \underbrace{\log P_g + \log PIB_{pc}}_{g(t)} + v_t \qquad (9)$$

Adicionalmente, para estimação dos modelos de oferta e demanda de etanol para os EUA e para o Brasil, são utilizadas variáveis específicas para cada país, além das já apresentadas nas equações. Para os EUA, as estimações são realizadas para o preço do etanol (P_e) e o preço do etanol subsidiado (PS_e), utiliza-se também, como variáveis exógenas: na equação de oferta (7), o preço do milho (P_m), a oferta de milho (O_m), o rendimento do milho (R_m) e testa-se a variável da parcela do milho destinado a produção de etanol (ES_m); na equação de demanda (9), a demanda por gasolina (D_g), crescimento populacional (CP) e testa-se o *market share* do etanol (Mse). Para o Brasil, utiliza-se como variáveis exógenas: na equação de oferta (7), o preço do açúcar (P_{ac}), o preço da cana-de-açúcar (P_{ca}) e a oferta de açúcar (O_{ac}); na equação de demanda (9), o crescimento

[38] Para as transformações das quantidades (Kg) em calorias alimentares e seus respectivos preços considerou-se a equivalência calórica de Williamson e Williamson (1942), assim como em Roberts e Schlenker (2009, 2013).
[39] De acordo com a FAO (2017) o consumo médio diário global é de 1800 calorias.

populacional (CP) e testa-se a introdução dos veículos *flex-fuel* no ano de 2003 com a utilização de uma variável *dummy* ($D2003$).

3.1.3 Identificação e método de procedimentos

Para identificação da oferta utiliza-se choques passados de rendimento (induzidos pelo clima) para identificar a elasticidade de oferta β_s. Roberts e Schlenker (2013) destacam que isso é possível porque choques passados de oferta induzidos pelo clima afetam estoques e os estoques afetam o preço esperado em períodos subsequentes. O pressuposto fundamental para a identificação consistente da elasticidade de oferta é que choques passados de oferta induzidos pelo clima tem covariância zero com deslocadores de oferta não observados no período corrente. Deslocadores de oferta não observados podem resultar de problemas recorrentes ou antecipadas pragas, fenômenos macroeconômicos gerais, políticas governamentais, ou talvez outros fatores.

Logo, o choque de rendimento (relacionado a mudança climática ou variação na temperatura) afeta indiretamente a produção (oferta), visto que influencia no rendimento do insumo ligado a produção de etanol e em seu preço final (tanto no caso da cana-de-açúcar como para o milho), o que irá determinar a escolha do produtor em relação a quanto "esforço" dedicar para produzir etanol, dado o preço do insumo (ou direcionar maior parcela a produção de açúcar, no caso do produtor brasileiro).

Para realizar a identificação consistente da elasticidade de demanda β_d é necessário que o instrumento desloque a oferta de uma forma que é plausivelmente sem relação com mudanças não observadas na demanda. Tecnicamente, w_t deve ter uma covariância zero em v_t. Segundo as considerações de Roberts e Schlenker (2013) o clima é um instrumento natural por três razões: primeiro, o clima é claramente exógeno em um sentido econômico, pois o clima afeta os produtores, mas os mesmos não podem afetar o clima; em segundo lugar, do ponto de vista dos produtores (agricultores), o clima é imprevisível e quase aleatório em tempo de plantio, exceto talvez para alguns ciclos, como o El Niño. A aleatoriedade do clima sugere que não esteja relacionado a condições econômicas mais amplas que têm a ver com a demanda; em terceiro lugar, enquanto o clima tem uma ligação causal óbvia de oferta de *commodities* agrícolas, que, em geral, parece ter pouca ou nenhuma influência direta na demanda. É claro que é possível que o clima possa influenciar e mudar os gostos, fome ou necessidade calórica geral.

Adicionalmente, outras variáveis instrumentais são testadas na identificação, entre as quais a que se mostrou significativa na robustez do modelo e utilizada nos modelos de equivalência calórica, é o número de pessoas que podem ser alimentadas (H_{al}) considerando uma dieta diária de 1800 calorias (utilizada em *log*), com base na produção calórica de cada país. A variável em questão também foi testada nos modelos estimados por Roberts e Schlenker (2013).

Assim, procede-se para a identificação das elasticidades usando choques de rendimentos específicos de cada cultura induzidas pelo clima, em um primeiro momento estimando os modelos com variáveis unicamente para o mercado de etanol e rendimentos específicos para cada cultura, fazendo a estimação de forma individual para cada país (utilizando MQ2E), como realizado por Luchansk e Monks (2009) para os EUA, e posteriormente tanto de forma individual quanto de forma agregada se estima o modelo geral utilizando a equivalência calórica alimentar para agregar o mercado de *commodities* agrícolas (em relação a quantidades, preços e rendimento) e utiliza-se um modelo com dados em painel de VI, utilizando o estimador de MQ2E, para estimar a relação entre o mercado mundial produtor de etanol (assumido como EUA e Brasil, no presente estudo)[40] e o mercado de *commodities* alimentares básicas.

3.2 Fonte de dados

O período de análise está relacionado a disponibilidade de dados e informações junto aos órgãos governamentais dos EUA e Brasil, responsáveis pelo acompanhamento do setor de biocombustíveis, e também da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAOSTAT, 2017) e *International Monetary Fund* (IMF-IFS, 2017). Assim, a base de dados é constituída por variáveis com periodicidade anual, que compreendem o período de 1981 a 2016, sendo que os valores monetários foram corrigidos (deflacionados) para dólares (US$) correntes de 2015. A seguir é apresentado, de forma simplificada, algumas das variáveis utilizadas e suas referidas fontes, uma caracterização mais completa de todas as informações e a unidade de medida em que foram utilizadas pode ser encontrada no Quadro 1 (Apêndice B).

[40] Cabe ressaltar que, além do ponto já destacado anteriormente como justificativa para utilizar apenas os dois países como base para o mercado de etanol, essa "decisão" é resultado de limitações quanto a base de dados de países com parcelas menores quanto a produção e consumo de etanol, e também devido a maioria dos países ainda estarem na fase inicial do processo de adoção do etanol como combustível, o que limita o período de análise e as informações quanto ao funcionamento desses mercados.

A base de dados é constituída de variáveis relacionadas a produção e consumo de etanol, utilizados como *proxy* para oferta e demanda, e o preço do etanol. Para os EUA, essas informações foram obtidas junto a USDOE (produção e consumo) e a *Nebraska Energy Office* (NEO, 2017), respectivamente. Para o Brasil, estas variáveis foram obtidas junto ao IPEADATA, tendo por fonte primária as informações da ANP. Quanto as variáveis de produção e preços das *commodities* agrícolas, tanto para os EUA quanto para o Brasil, tem-se: produção de soja, arroz, trigo, cana-de-açúcar e açúcar (FAOSTAT)[41]; produção de milho (USDA para os EUA e IBGE/IPEADATA para o Brasil); preço do soja, milho, arroz, trigo e açúcar (cotação internacional do IMF-IFS). Outras variáveis utilizadas são o preço e consumo de gasolina (NEO e USDOE, respectivamente, para os EUA e ANP/IPEADATA para o Brasil) e a mudança climática (FAOSTAT).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na presente seção são apresentados os resultados para os modelos de oferta e de demanda de etanol, assim como para a relação deste com o mercado de *commodities* alimentares. O procedimento adotado para as estimações e a apresentação dos resultados (Tabelas 1, 2 e 3) constitui-se em, inicialmente, analisar separadamente o mercado de etanol nos EUA e no Brasil, estimando (MQ2E) as equações de oferta e de demanda de etanol nos respectivos mercados, utilizando primeiramente preço do insumo base (valores monetários para quantidade)[42] e na análise da relação com o mercado agrícola o preço considerando a equivalência calórica (valores monetários por caloria). Após analisar os mercados individualmente, considerando as suas especificações e a equivalência calórica, foi utilizado um modelo de Dados em Painel com o estimador de MQ2E, aplicando o estimador de Baltagi (EC2SLS)[43], para avaliar o mercado de forma agregada.

A Tabela 1 apresenta os resultados para o mercado de etanol dos EUA, sendo que em um primeiro momento são estimados modelos via Mínimos Quadrados Ordinários (colunas 1 e 2) e posteriormente utilizando o estimador de variáveis instrumentais (colunas 3 a 6)[44].

[41] Devido as séries da FAOSTAT encerrarem em 2014, foi utilizado complementarmente os dados do USDOE (para os EUA) e IPEADATA (para o Brasil), para os anos de 2015 e 2016.
[42] Ver a especificação de cada variável no Quadro 1 do Anexo B.
[43] Ver Baltagi e Liu (2009).
[44] Cabe ressaltar que devido a gama de informações dos resultados obtidos optou-se por discutir apenas os principais resultados ligados ao objetivo e a contribuição do presente estudo.

Tabela 1 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para os EUA

Variáveis	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**
a. Modelo de Oferta						
Constante	-104,9148***	-35,0432**	-123,0909***	-86,4923***	-134,534***	-125,1694***
	(10,2816)	(14,3803)	(22,8157)	(23,9361)	(6,7460)	(6,7681)
lnPe (t-1)	-0,1005		1,9802		0,3519*	
	(0,2921)		(1,7909)		(0,2052)	
lnPSe (t-1)		-0,1022		1,2505		0,2850*
		(0,1448)		(1,1375)		(0,1602)
lnPm	0,1725	-0,4973***	-0,8023	-0,8225		
	(0,1708)	(0,1646)	(0,9086)	(0,9274)		
lnOm	6,4488***	2,8231***	6,9566***	5,3051***		
	(0,5705)	(0,7611)	(1,0905)	(1,4447)		
lnRm	-1,90**	-0,4722	-1,8109	-1,5199		
	(0,8588)	(0,6794)	(1,3348)	(1,3494)		
lnPal					0,7426***	0,6470**
					(0,1982)	(0,2136)
lnRCM					9,5530***	9,0033***
					(0,4153)	(0,5481)
ESm		0,0511***				
		(0,0091)				
VI	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
R-squared	0,9314	0,9696	0,7839	0,7926	0,9363	0,9343
F-stat	115,63***	256,52***				
b. Modelo de Demanda						
Constante	43,2937	-35,4806*	87,4878**	14,4279	14,1687	-64,4249***
	(32,3691)	(19,0206)	(39,8071)	(53,3604)	(29,0068)	(7,0568)
lnPe	-1,6961***		-4,0158***		-4,3397***	
	(0,5391)		(1,1242)		(1,4529)	
lnPSe		-0,1291		-0,3306		-0,4482
		(0,1379)		(1,3308)		(1,7216)
lnPg	1,6285***	0,2275	3,0116***	1,1724	3,2642***	1,2468*
	(0,3795)	(0,1592)	(0,6219)	(1,2756)	(0,9628)	(0,6717)
lnDg	-6,6717**	0,2980	-6,8382**	-7,0358*		
	(2,8155)	(1,9252)	(2,8123)	(4,0331)		
lnPIBpc	9,9705***	4,1029**	6,7276**	12,7094***	0,8771	7,0193***
	(2,3909)	(1,8451)	(2,779)	(2,7034)	(2,4051)	(0,6327)
CP	-0,5381	0,0888			0,4399	
	(0,4138)	(0,1877)			(0,6505)	
Mse		0,1938***				
		(0,0162)				
VI	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
R-squared	0,9431	0,9885	0,9133	0,9138	0,8913	0,8970
F-stat	277,46***	497,73***				

Nota: As colunas 1 a 4 representam as estimações utilizando valores monetários para preços de *commodities* alimentares, enquanto as colunas 5 e 6 os mesmos são transformados em equivalentes calóricos. Erros-padrão robustos entre parênteses. ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como pode ser observado (Tabela 1), os coeficientes da elasticidade-preço da oferta nos modelos não instrumentados (painel a) não apresentam significância estatística e possuem sinal contrário a teoria (indicando tendência negativa nas elasticidades de oferta quando a estimação é feita sem considerar a endogeneidade), além de serem altamente inelásticas. No entanto, quando o modelo é instrumentado a elasticidade-preço

da oferta se torna positiva indicando que aumentos no preço do etanol (P_e e PS_e)[45] tem efeito positivo sobre a oferta de etanol, nos modelos das colunas 3 a 6, porém as mesmas se tornam estatisticamente significativas apenas quando se utiliza a equivalência calórica (colunas 5 e 6). Assim, a resposta da oferta a variações no preço é elástica (1,98 e 1,25) para o modelo sem a equivalência calórica (colunas 3 e 4) e inelástica (0,49 e 0,48, colunas 5 e 6, respectivamente) para os modelos com equivalência calórica, logo, elevações no preço de etanol levam a variações positivas na oferta de etanol, estando o mesmo de acordo com a teoria e com os resultados encontrados por Luchansky e Monks (2009).

Com relação ao modelo de oferta de etanol, cabe destacar ainda, a relação positiva e estatisticamente significativa com o preço dos alimentos (0,74 e 0,65), ou seja, aumentos nos preços equivalentes dos alimentos (P_{al}), em 1%, por exemplo, levam a um aumento da oferta de etanol de aproximadamente 0,74% (coluna 5, painel a), mantendo-se as demais variáveis constantes. Isso indica uma forte relação positiva (estão positivamente correlacionadas) com os preços das demais *commodities* em análise, visto que para o preço do milho, principal insumo do etanol americano, possuem relação negativa com a oferta de etanol (-0,80 e -0,82, colunas 3 e 4), mesmo que esses não tenham significância estatística, o que torna a análise limitada quanto a esses coeficientes, no entanto estão de acordo com a teoria econômica e como os resultados verificados por Luchansky e Monks (2009) para o preço do milho (Pm) para os EUA. Com relação a variável P_{al}, é possível verificar um efeito positivo em relação ao aumento na produção de etanol, ou seja, existe uma relação significativa com relação a aumentos dos P_{Al} nos EUA e a expansão da oferta de etanol americano.

Quanto ao modelo de demanda de etanol para os EUA (Tabela 1), pode-se verificar que a medida que a demanda é instrumentalizada a elasticidade de demanda se torna mais elástica e negativamente relacionada (estando de acordo com a teoria) com a demanda por etanol, e a mesma se mostra significativa (com exceção do modelo da coluna 6 da que são utilizados os preços subsidiados), esse resultado também é observado por Luchansk e Monks (2009) ao analisarem o mercado de etanol nos EUA.

Cabe destacar também a relação positiva e estatisticamente significativa entre a elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação a demanda de etanol, além da mesma

[45] As elasticidades preço da oferta para os EUA são estimadas considerando o preço do etanol pago ao produtor e também o preço subsidiado do etanol (P_e e PS_e, respectivamente), o qual decorre de subsídios por parte do governo que são descontados na composição final do preço.

ser elástica em ambos os modelos (3,01 e 3,26 para os modelos sem e com equivalência calórica, respectivamente, considerando o modelo de preços não subsidiados), mostrando que se trata de um bem substituto no mercado americano, portanto, aumentos no preço da gasolina levam a uma maior procura (demanda) por etanol.

O mesmo efeito também é encontrado com relação a incrementos na renda per capita, sendo que a mesma mostrou-se estatisticamente significativa em quase todos os modelos (com exceção da coluna 5) para explicar as variações na demanda de etanol dos EUA. Quando a análise é realizada utilizando o preço do etanol com subsídios (PS_e), colunas 4 e 6, os resultados são não apresentam significância estatística para a elasticidade-preço da demanda, algo que era de se esperar visto que esses não são os preços praticados no mercado, assim os mesmos não são capazes de explicar as variações na demanda de etanol.

Os resultados apresentados na Tabela 2 referem-se ao modelo de oferta e de demanda para o mercado de etanol brasileiro, no período de 1981 a 2016. Para o modelo de oferta (painel a), verifica-se que quando o modelo não é instrumentalizado a elasticidade-preço da oferta (Pe_{t-1}) é inelástica, negativa e não significativa, no entanto, após a instrumentalização ela aumenta de magnitude, se torna elástica (3,5615 e 3,4183) e estatisticamente significativa, para ambos os modelos, com e sem a equivalência calórica (colunas 3 e 4, respectivamente), estando o efeito de acordo com a teoria, visto que a elasticidade da oferta é positiva, logo, aumentos de preço levam a aumento na oferta (produção) de etanol.

Cabe destacar ainda, que para o modelo de equivalência calórica a variável para o preço dos alimentos (P_{al}) apresentou significância estatística para explicar a oferta de etanol brasileiro, tendo relação negativa, portanto, o aumento da oferta de etanol no mercado brasileiro possui relação significativa e negativa com os preços das *commodities* agrícolas em análise, indicando que quando o P_{al} aumenta em um ponto percentual, mantendo-se as demais variáveis constantes, implica em uma redução de 1,64% na oferta de etanol.

Com relação ao modelo de demanda (painel b, Tabela 2), a elasticidade-preço da demanda apresenta relação positiva para o modelo não instrumentalizado (VI), porém paro os modelos com VI a mesma se torna negativa, estando de acordo com a teoria, visto que aumentos no preço reduzem a demanda por etanol, no entanto não se demonstrou significativa, sendo inelástica (-0,8548 e -0,3124) inclusive no modelo de equivalência calórica (coluna 4).

Tabela 2 - Modelo de oferta e de demanda de etanol para o Brasil

Variáveis	**(1)**	**(2)**	**(3)**
a. Modelo de Oferta			
Constante	4,4488	0,2257	3,0532
	(1,4080)	(6,8276)	(5,3243)
lnPe (t_{-1})	-0,0742	3,5615***	3,4183***
	(0,2526)	(1,3354)	(1,2888)
lnPac	0,4881***	-0,9242**	
	(0,1572)	(0,3915)	
lnPca	-0,1903*	-0,6410	
	(0,1070)	(0,4406)	
lnOac	0,6119***		
	(0,0986)		
lnPal			-1,6429*
			(0,8956)
VI	Não	Sim	Sim
R-squared	0,7482	0,6125	0,6589
F-stat	30,55***		
b. Modelo de Demanda			
Constante	12,6883	-14,0902	-8,4724
	(13,8388)	(103,0853)	(92,0453)
lnPe	1,0947**	-0,8548	-0,3124
	(0,4830)	(7,1341)	(5,6588)
lnPg	-1,3076**	0,2683	-0,2357
	(0,5239)	(5,6053)	(4,0437)
lnPIBpc	0,6795	3,595	2,9979
	(1,4141)	(11,2865)	(10,1718)
CP	-0,6015	0,2169	0,1473
	(0,5876)	(3,2291)	(3,4235)
D2003	0,0536	-0,1549	
	(0,2681)	(0,776)	
VI	Não	Sim	Sim
R-squared	0,7588	0,6403	0,6953
F-stat	21,37***		

Nota: As colunas 1 e 2 representam as estimações utilizando valores monetários para preços de *commodities* alimentares, enquanto a coluna 3 os mesmos são transformados em equivalentes calóricos. Erros-padrão robustos entre parênteses. ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

A elasticidade-preço cruzada da gasolina apresentou resultado contraditório no modelo de equivalência calórica, sendo negativa, porém para o modelo sem equivalência seu coeficiente mostrou-se positivo, evidenciado que aumentos no preço do bem substituto levam a uma maior procura pelo etanol, como esperado, contudo em proporção menor ao aumento de preço, visto que a resposta é inelástica (0,2683). O efeito em parte contraditório, pode ser oriundo de boa parcela do etanol produzido e consumido no

mercado brasileiro, ser utilizado de forma conjunta a gasolina (como mistura), o que relaciona esses combustíveis como complementares.

A resposta da demanda a variações na renda mostrou-se elástica (3,595 e 2,998), o que indica que o etanol pode ser considerado um bem normal no Brasil. O crescimento populacional apresentou relação positiva, porém não significativa para explicar a demanda de etanol, nos modelos instrumentalizados. Por fim, a variável para captar a mudança no padrão de demanda de etanol após a introdução dos carros *flex-fuel* (D2003) não mostrou-se significativa, indicando que a mudança no padrão não se verifica. No entanto, cabe ressaltar que os resultados para os modelos de demanda com VI não apresentaram significância estatística para as variáveis utilizadas, o que torna a análise destes limitada, contudo, uma hipótese para esse fato pode estar relacionado a janela temporal (visto que se trata de dados anuais) que tem limitações devido ao período em análise e a disponibilidade dos dados, o que não invalida o sentido econômico dos resultados, dado que utilizou-se as séries disponíveis na presente análise.

A seguir, na Tabela 3, são apresentados os resultados para o modelo de oferta e de demanda de etanol para o mercado mundial e a sua relação na interação com o mercado de *commodities* agrícolas. A partir da equivalência calórica, com relação as variáveis ligadas as *commodities* agrícolas analisadas, todos os modelos estimados, apresentados na Tabela 3, utilizam a agregação e são instrumentados com choques de rendimentos calóricos induzidos pelo clima específico de cada país, sendo as especificações e variáveis utilizadas apresentadas na seção anterior.

Como pode ser observado, no painel a (coluna 2), o modelo de oferta mundial de etanol apresenta resposta elástica a variações no preço, significativa e positiva (1,3464), estando de acordo com o esperado, visto que aumentos de preços devem ocasionar um maior esforço por parte da quantidade a ser produzida no próximo período. A elasticidade-preço cruzada com os alimentos mostrou-se negativa e sem significância estatística. A relação negativa do P_{al} com a oferta de etanol é de se esperar visto a relação com o insumo presente nessa variável, porém, essa variável não tem relação estatisticamente significativa para explicar as variações na oferta de etanol. Logo, quando o mercado é analisado de forma agregada, a significância dessa variável na explicação da oferta de etanol não se verifica, diferentemente quando analisado individualmente os mercados, no entanto com sinais divergentes para EUA e Brasil, um indicativo da relação de preços entre a produção de etanol e o preço dos alimentos.

Tabela 3 - Preço das *commodities* alimentares e a produção de etanol

Variáveis	**(1)**	**(2)**	**(3)**		**(4)**	**(5)**
a. Modelo de Oferta				b. Modelo de Demanda		
Constante	14,9651***	9,5901*		Constante	4,4124	11,6160***
	(2,8355)	(5,4763)			(2,8466)	(4,0456)
lnPe (t-1)	-0,4324	1,3464*		lnPe	-2,8832***	-5,3518***
	(1,0439)	(0,7899)			(0,9438)	(0,8453)
lnPal	0,7523	-0,3575		lnPg	2,6531***	3,6461***
	(0,6906)	(0,1102)			(0,3848)	(0,4044)
VI	Não	Sim		lnPIBpc	1,3054***	1,5425***
Obs	69	69			(0,0729)	(0,2114)
				VI	Não	Sim
				Obs	71	71
c. Preço dos alimentos						
Constante	3,1750**	-20,0663	2,8825*			
	(1,6213)	(12,6500)	(1,7519)			
lnPe	0,2364	4,553138**	1,5597**			
	(0,2564)	(2,3296)	(0,7492)			
lnO	-0,0555	0,8194*	-0,2031**			
	(0,0487)	(0,4629)	(0,0964)			
lnPg	0,2588*	-2,7834*	-0,6036			
	(0,1197)	(1,6060)	(0,8282)			
VI	Sim	Sim	Sim			
Obs	71	35	35			
Wald chi2	47,92***	6,66*	22,24***			

Nota: As colunas 1-3 do painel "c" representam, respectivamente, as estimações para a relação entre o preço das *commodities* agrícolas e a produção mundial de etanol (1), a produção dos EUA (2) e a produção do Brasil (3). Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação ao modelo de demanda (painel b, coluna 5), verificou-se uma resposta da demanda altamente elástica (-5,35) a variações no preço e estatisticamente significativa, apresentando uma relação negativa entre o preço de etanol e a demanda, ou seja, aumentos de preços incorrem em redução do consumo (demanda), estando de acordo com o esperado teoricamente. Cabe destacar ainda, que a elasticidade-preço cruzada da gasolina em relação a demanda, apresenta uma relação positiva (3,65) e estatisticamente significativa, demonstrando que a gasolina é um bem substituto ao etanol no mercado mundial, logo, variações positivas no preço da gasolina irão influenciar em uma maior procura pelo consumo de etanol, em substituição a gasolina, da mesma forma, elevações no preço do etanol ao mesmo tempo que reduzem a demanda de etanol, aumentam a procura por gasolina, dado o efeito substituição. O coeficiente de elasticidade-renda da

demanda (PIB_{pc}) também apresentou sinal positivo (1,54), significativo e maior que a unidade, indicando que o etanol é um bem normal e que a medida que a renda aumenta a demanda por etanol é influenciada positivamente.

O modelo para preço dos alimentos (painel c) demonstra a relação entre o preço nos mercados agrícolas e de etanol. Como pode-se observar, o preço do etanol apresenta relação positiva com o preço dos alimentos, tendo magnitudes diferentes, sendo o efeito maior e significativo para aumentos de preço nos EUA. Quando a análise é agregada (mercado mundial) o coeficiente torna-se inelástico (0,26) com baixa magnitude e estatisticamente não significativo. O preço da gasolina apresentou relação positiva e significativa com o preço dos alimentos, indicando que estatisticamente contribui para explicar as variações nos preços.

Em suma, os resultados dos modelos de oferta e de demanda de etanol demonstram que quando analisado de forma agregada o mercado de etanol, a produção de etanol não apresenta uma relação significativa com o preço das *commodities* agrícolas (alimentares básicas), quando a análise é feita individualmente, para o caso dos EUA essa relação se torna significativa e com relação positiva, para o Brasil a relação, apesar de apresentar sinal positivo e possuir significância estatística, a magnitude do coeficiente é menor, indicando menor efeito. Assim, quando analisado a relação direta dos preços (painel c) pode-se observar que existe uma correlação positiva entre os mesmos, e que esta não é significativa apenas no caso da análise conjunta (coluna 1), indicando também, como no caso dos modelos de oferta e de demanda, que a produção de etanol dos EUA apresenta relação positiva com o aumento do preço dos alimentos ao longo do período analisado, enquanto que para o Brasil essa relação é negativa. Nesse sentido, a hipótese do presente estudo pode ser confirmada, assim, uma maior utilização do produto brasileiro em detrimento do etanol dos EUA poderia contribuir na relação de preços existentes, suavizando a relação de impacto sobre o preço dos alimentos, ou mesmo, deixando de ser significativa quando o mercado é analisado conjuntamente.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve o objetivo de estimar as elasticidades de oferta e de demanda para a produção mundial de etanol utilizando a equivalência calórica na análise das interações entre o mercado de etanol e as principais *commodities* agrícolas, além de caracterizar o mercado de etanol internacional quanto à produção e a comercialização.

Em relação a caracterização pode-se perceber um crescimento significativo na demanda mundial por etanol, também uma consolidação que ocorreu de forma gradativa dos EUA quanto maior produtor, consumidor e exportador de etanol no mundo. Os principais parceiros comerciais dos EUA são o Canadá (principal importador de etanol) e o Brasil, existindo um fluxo de exportação e importação recíproco com o segundo, durante os anos analisados, com destaque para um aumento da importação por parte do Brasil e diminuição na parcela de exportador mundial, tendo perdido mercado para os EUA, por esse ter se tornado autossuficiente e reduzido as importações oriundas do Brasil, ao longo da última década.

Para o mercado de etanol dos EUA verificou-se que a produção de etanol é inelástica a preço e estatisticamente significativa quando utiliza-se a equivalência calórica na análise, embora elástica e não significativa quando não se leva a equivalência em consideração, apresentando uma relação positiva em todos os modelos instrumentados, indicando que variações na demanda são refletidas em maior aumento de preços do que variação na produção (resposta inelástica). Apesar de não verificada uma relação significativa entre o preço do milho e a produção de etanol, no modelo de equivalência, a produção de etanol apresentou uma relação positiva e significativa com o preço dos alimentos. A elasticidade-preço da demanda indicou uma forte relação entre o consumo e o preço de etanol, assim como a elasticidade-renda. Os resultados também indicam que a gasolina é um substituto do etanol no mercado dos EUA.

O mercado de etanol brasileiro apresentou elasticidade-preço da oferta elástica e estatisticamente significativa, indicando que o esforço dedicado a produção é altamente influenciado pelos preços previstos. A produção (oferta) de etanol no Brasil apresentou uma relação significativa com o preço dos alimentos, sendo a mesma negativa, ao contrário do verificado para a produção dos EUA. A demanda mostrou-se inelástica a preço e indicou uma relação negativa entre o consumo (demanda) de etanol e o preço, porém a mesma não se mostrou significativa. A elasticidade-preço cruzada demonstrou que a gasolina é um bem substituto ao etanol no Brasil, no modelo sem equivalência calórica, no entanto o coeficiente não foi significativo estatisticamente.

Entre os principais resultados para o mercado mundial de etanol, encontrou-se uma resposta elástica da produção de etanol a mudanças no preço do etanol, estatisticamente significativa, logo mudanças na demanda, vão se traduzir principalmente em mudanças na produção do etanol em vez de variações no preço de etanol. Outro resultado interessante é que a produção mundial de etanol não teve relação

estatisticamente significativa com os preços dos alimentos. Do lado da demanda, a elasticidade-preço da demanda, altamente elástica, sugere que os preços do etanol têm um forte efeito sobre a quantidade demandada de etanol. Ao avaliar o mercado de etanol e sua interação com o mercado de *commodities* agrícolas (preço dos alimentos), de forma individual para a produção de etanol de cada país, verificou-se uma relação positiva e estatisticamente significativa para o caso dos EUA, o mesmo se verifica para o Brasil, no entanto com menor magnitude, o que sugere para uma maior relação positiva entre a produção de etanol nos EUA, a base de milho, e o preço dos alimentos a nível mundial.

Portanto, com relação a hipótese de estudo, de que o etanol brasileiro pode influenciar na redução ou pelo menos auxiliar no controle do aumento de preços que acomete as principais *commodities* agrícolas mundiais, via redução da demanda de milho para produção de etanol nos EUA, verifica-se que essa pode ser uma alternativa para possíveis políticas públicas de uma maior utilização do produto brasileiro em relação ao americano, visto que no caso do Brasil a relação apresentada possui menor magnitude do que a verificada para os EUA e quando analisado conjuntamente a relação não é estatisticamente significativa, ou seja, isso indica que o produto brasileiro utilizado em maior escala em detrimento do produto americano, pode ter uma relação de menor impacto no preço dos alimentos.

Como contribuição deste trabalho pode-se destacar que além de fornecer um panorama do mercado mundial de etanol, também contribui-se com as estimativas de elasticidades de oferta e de demanda a nível internacional (mundial) para esse mercado, sendo assim uma contribuição ainda não explorada pela literatura existente. Entre os principais apontamentos destaca-se o de demonstrar que o produto brasileiro pode trazer uma possível influência positiva, se for utilizado em maior escala em detrimento do produto americano, no cenário atual de aumento de preços das *commodities* alimentares a nível mundial. Além disso, o presente estudo faz o aporte de uma teoria ainda pouco explorada na literatura, e no que tange o mercado de etanol a contribuição empírica com relação ao modelo de equivalência calórica analisando individualmente para o Brasil e EUA, e agregando o mercado mundial de etanol é inexplorada até o momento.

Em relação a possíveis limitações, pode-se, em estudos futuros, avançar em relação a amplitude do mercado mundial de etanol, não se limitando apenas aos dois principais países consumidores e produtores, porém, para que isso seja possível ainda é preciso um amadurecimento da utilização do etanol nesses mercados, de forma continuada, e também um maior acompanhamento em termos de monitoramento em

relação a informações estatísticas nos países que passaram a fazer parte do mercado mais recentemente. Outra possível limitação, pode estar ligada a agregação das *commodities* alimentares, em relação aos preços e rendimentos equivalentes (calóricos) das variáveis analisadas, porém a mesma se tornam necessária para se ter uma dimensão “aproximada” da relação da expansão do mercado mundial e sua interação com o mercado de *commodities* agrícolas.

REFERÊNCIAS

AL-RIFFAI, P.; DIMARANAN, B.; LABORDE, D. “Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate.” IFPRI: 125, 2010.

ANDERSON, S. T. The demand for ethanol as a gasoline substitute. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 63, n. 2, p. 151-168, 2012.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em outubro de 2017.

BALTAGI, B. H.; LIU, L. A note on the application of EC2SLS and EC3SLS estimators in panel data models. **Statistics & Probability Letters**, v. 79, n. 20, p. 2189-2192, 2009.

BASTIANIN, A.; GALEOTTI, M.; MANERA, M. Ethanol and field crops: Is there a price connection?. **Food Policy**, v. 63, p. 53-61, 2016.

BELLMAN, R. **A Markovian decision process**. RAND CORP SANTA MONICA CA, 1957.

BOBENRIETH H.; EUGENIO, S. A.; BOBENRIETH H., J. R. A.; WRIGHT, B. D. A Commodity Price Process with a Unique Continuous Invariant Distribution Having Infinite Mean. **Econometrica**. v. 70, n. 3, p. 1213-19, 2002.

BRANDER, J.; KRUGMAN, P. A ‘reciprocal dumping’ model of international trade. **Journal of international economics**, v. 15, n. 3-4, p. 313-321, 1983.

CARDOSO, L. C. B.; BITTENCOURT, M. V. L. Mensuração das elasticidades-preço da demanda, cruzada e renda no mercado de etanol brasileiro: um estudo usando painéis cointegrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 765-784, 2013.

CHAGAS, A L. S.; TONETO-JÚNIOR, R.; AZZONI, C. R. Teremos que trocar energia por comida? Análise do impacto da expansão da produção de cana-de-açúcar sobre o preço da terra e dos alimentos. **Revista EconomiA**, 2008.

CHAKRAVORTY, U.; HUBERT, M. H.; MOREAUX, M.; NOSTBAKKEN, L. “Will Biofuel Mandates Raise Food Prices?” Working Paper No. 2011–01, University of Alberta, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/home/en/>. Acesso em setembro de 2017.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E>. Acesso em junho de 2017.

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

FRANÇA, A. C.; GURGEL, A. C. O efeito do Padrão de Combustíveis Renováveis Norte-Americano sobre o uso da terra no Brasil: uma análise à luz de um modelo

computável de equilíbrio geral. In: 42° Encontro Nacional de Economia, 2014, Natal. 42º Encontro Nacional de Economia. Natal: ANPEC, 2014.

GARDNER, B. Fuel ethanol subsidies and farm price support. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, v. 5, n. 2, 2007.

IEA. International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/>. Acesso em junho de 2017.

IMF-IFS. International Monetary Fund, International Financial Statistics. Disponível em: <http://www.imf.org/en/Data>. Acesso em setembro de 2017.

IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em outubro de 2017.

KRISTOUFEK, L.; JANDA, K.; ZILBERMAN, D. "Topological Properties of Biofuels Networks."Working Paper, University of Prague, 2011.

LUCHANSKY, M. S.; MONKS, J. Supply and demand elasticities in the US ethanol fuel market. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 403-410, 2009.

NEO. Nebraska Energy Office. Disponível em: <http://www.neo.ne.gov>. Acesso em outubro de 2017.

PACINI, H.; SILVEIRA, S. Consumer choice between ethanol and gasoline: Lessons from Brazil and Sweden. **Energy Policy**, v. 39, n. 11, p. 6936-6942, 2011.

PHLIPS, L. **The economics of price discrimination**. Cambridge University Press, 1983.

RASK, K. N. Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993. **Energy Economics.** 20, 325–345, 1998.

RFA. Renewable Fuels Association. Disponível em: <http://ethanolrfa.org/>. Acesso em outubro de 2017.

RFS. U.S. Renewable Fuel Standart. Disponível em: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>. Acesso em setembro de 2017.

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. World Supply and Demand of Food Commodity Calories. **American Journal of Agricultural Economics** (Proceedings of the Agricultural & Applied Economics Association Sessions at the 2009 ASSA Meeting in San Francisco), December 2009, 91 (5), 1235–1242.

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. Identifying Supply and Demand Elasticities of Agricultural *Commodities*: Implications for the US Ethanol Mandate. **American Economic Review**, 103(6): 2265-95, 2013.

ROJAS, E. G. Determinants of the Demand and Supply of U.S Fuel Ethanol. Economic Honor Thesis. 23 April, 2011. UF ID: 5610-3371.

SCHEINKMAN, J. A.; SCHECHTMAN, J. A. Simple Competitive Model with Production and Storage. **Review of Economic Studies**. v. 50, n. 3, p. 427-41, 1983.

SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R. A.; DONG, F.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D.; YU, T. H. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1238-1240, 2008.

SECEX. Secretaria do Comércio Exterior - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Base de Dados AliceWeb). Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>. Acesso em agosto de 2017.

SERRA, T. "Volatility Spillovers Between Food and Energy Markets: A Semiparametric Approach." **Energy Economics**, 2011.

SERRA, T.; ZILBERMAN, D.; GIL, J. "Price Volatility in Ethanol Markets." **European Review of Agricultural Economics**, 38(2): 259–80, 2011.

SERRA, T.; ZILBERMAN, D.; GIL, J. M.; GOODWIN, B. K. "Nonlinearities in the US Corn-Ethanol-Oil Price System."**Agricultural Economics**, 38(2):259–80, 2011.

TIMILSINA, G. R.; BEGHIN, J. C.; VAN DER MENSBRUGGHE, D.; MEVEL, S. The impacts of biofuels targets on land-use change and food supply: A global CGE assessment. **Agricultural Economics**, v. 43, n. 3, p. 315-332, 2012.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Quick_Stats/>. Acesso em outubro de 2017

USDOE. U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/data/search?q=ethanol>. Acesso em agosto de 2017.

WILLIAMSON, L.; WILLIAMSON, P. What We Eat. **Journal of Farm Economics**. v. 24, n. 3, p. 698-703, 1942.

WORLD BANK. Disponível em:<http://www.worldbank.org/>. Acesso em setembro de 2017.

VON THUNEN, J. H. **Von Thunen's Isolated State**. Oxford, Pergamon Press, 1966 (1ª edição alemã em 1826).

ZHANG, Z.; LOHR, L.; ESCALANTE, C. E.; WETZSTEIN, M. E. "Ethanol, Corn and Soybean Price Relations in a Volatile Vehicle-fuels Market". **Energies**, 2:320–39, 2009.

ZHANG, Z.; LOHR, L.; ESCALANTE, C.; WETZSTEIN, M. "Food Versus Fuel: What Do Prices Tell Us?". **Energy Policy**, 38: 445–51, 2010.

ZILBERMAN, D.; HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; SEXTON, S.; TIMILSINA, G. The impact of biofuels on commodity food prices: Assessment of findings. **American Journal of Agricultural Economics**, p. aas037, 2012.

APÊNDICE B

Quadro 1 - Variáveis utilizadas, unidades e as respectivas fontes

Variável	Sigla	Unidade	Fonte (EUA)	Fonte (Brasil)
Produção de etanol	O	m³	USDOE	ANP/IPEADATA
Consumo de etanol	D	m³	USDOE	ANP/IPEADATA
Preço de etanol	Pe	US$/m³	NEO	ANP/IPEADATA
Estoque de etanol	Ee	m³	USDOE	ANP/IPEADATA
Preço da gasolina	Pg	US$/m³	NEO	ANP/IPEADATA
Preço do açúcar	Pac	US$/tonelada	IMF-IFS	IMF-IFS
Preço do milho	Pm	US$/tonelada	IMF-IFS	IMF-IFS
Preço da soja	Ps	US$/tonelada	IMF-IFS	IMF-IFS
Preço do arroz	Par	US$/tonelada	IMF-IFS	IMF-IFS
Preço do trigo	Ptr	US$/tonelada	IMF-IFS	IMF-IFS
Produção de açúcar	Oac	Toneladas	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Produção de milho	Om	Toneladas	USDA	IBGE/IPEADATA
Produção de soja	Os	Toneladas	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Produção de arroz	Oar	Toneladas	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Produção de cana-de-açúcar	Oca	Toneladas	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Produção de trigo	Otr	Toneladas	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Consumo de Gasolina	Dg	m³	USDOE	ANP/IPEADATA
Market Share etanol	MSe	%	NEO	-
Parcela de milho destinado a produção de etanol	ESm	%	USDA	-
Rendimento da soja	Rs	Toneladas/Ha	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Rendimento do arroz	Rar	Toneladas/Ha	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Rendimento da cana-de-açúcar	Rca	Toneladas/Ha	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Rendimento do trigo	Rtr	Toneladas/Ha	FAOSTAT e USDOE	FAOSTAT e IPEADATA
Rendimento do milho	Rm	Toneladas/Ha	USDA	IBGE/IPEADATA
Mudança climática/temperatura	MC	°C	FAOSTAT	FAOSTAT
Produção calórica de açúcar	Cac	Calorias	Transformação com base em Williamson e Williamson (1942)	
Produção calórica de milho	Cm	Calorias		
Produção calórica de soja	Cs	Calorias		
Produção calórica de arroz	Car	Calorias		
Produção calórica de trigo	Ctr	Calorias		
Produção calórica total	CT	Calorias		
Rendimento calórico do açúcar	RCac	Calorias/Ha*	Produção calórica total (t)/hectares FAOSTAT	
Rendimento calórico do milho	RCm	Calorias/Ha		
Rendimento calórico da soja	RCs	Calorias/Ha		
Rendimento calórico do arroz	Rcar	Calorias/Ha		
Rendimento calórico do trigo	RCtr	Calorias/Ha		
Rendimento calórico médio**	RCM4	Calorias/Ha		
Rendimento calórico médio***	RCM5	Calorias/Ha		
Preço do etanol subsidiado EUA	PSe	US$/m³	NEO	-
PIB per capita	PIBpc	US$/habitante	World Bank	World Bank

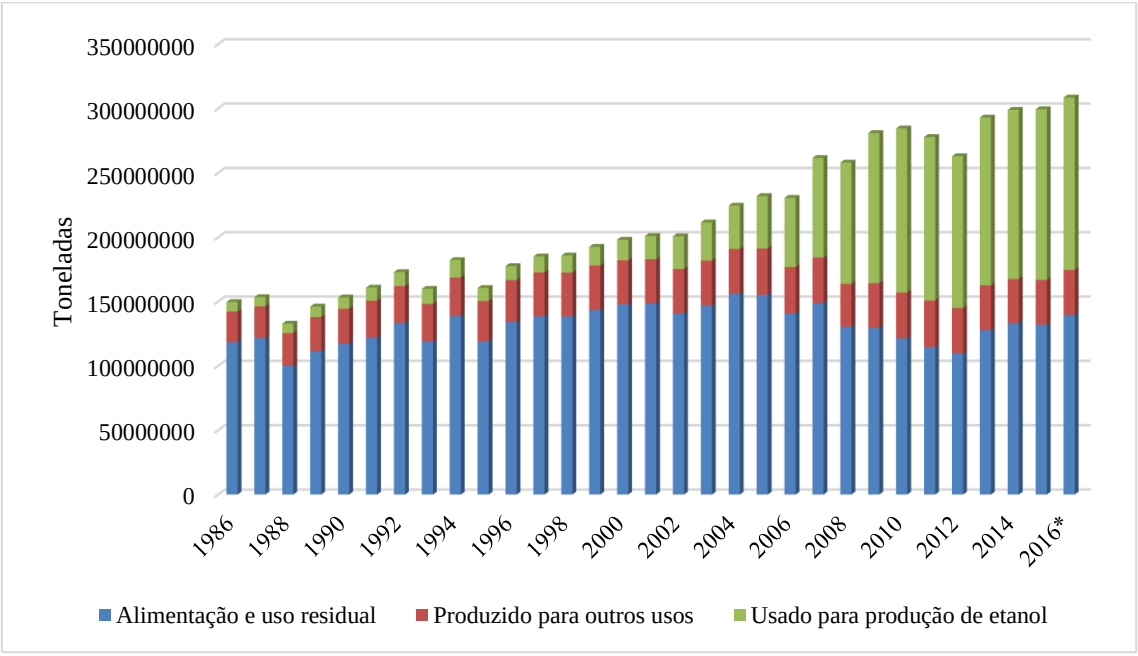
(continua)

(continuação)

Variável	Sigla	Unidade	Fonte (EUA)	Fonte (Brasil)
Preço dos alimentos (calorias)	P_{AL}	US$ dado consumo de 1800 calorias diárias.	Equação (8). Transformação com base em Williamson e Williamson (1942), Roberts e Schlenker (2009, 2013).	
População	H	Número de pessoas	World Bank	World Bank
Produção calórica por habitantes	CH	Calorias/hab.	CT*t*/H*t*	CT*t*/H*t*
Crescimento populacional	CP	%	World Bank	World Bank

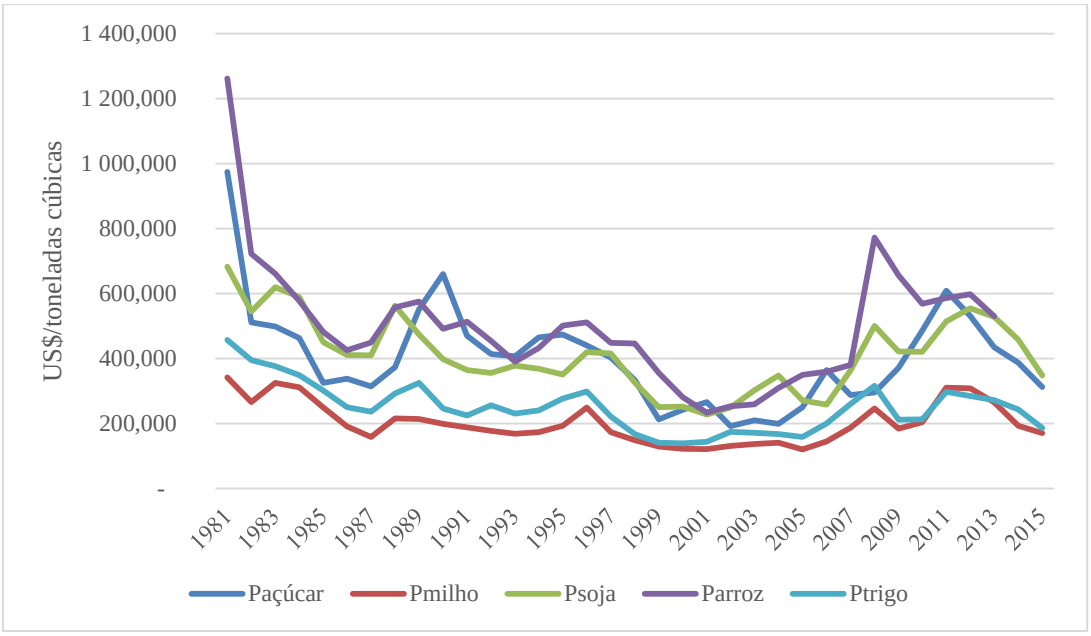
Nota: *Para a construção da variável RCac foi utilizado como *proxy* o número de hectares plantados/colhidos de cana-de-açúcar; **Rendimento calórico médio excluído o rendimento da cana-de-açúcar; ***Rendimento calórico médio total.
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 6 - Produção total e uso do milho nos EUA



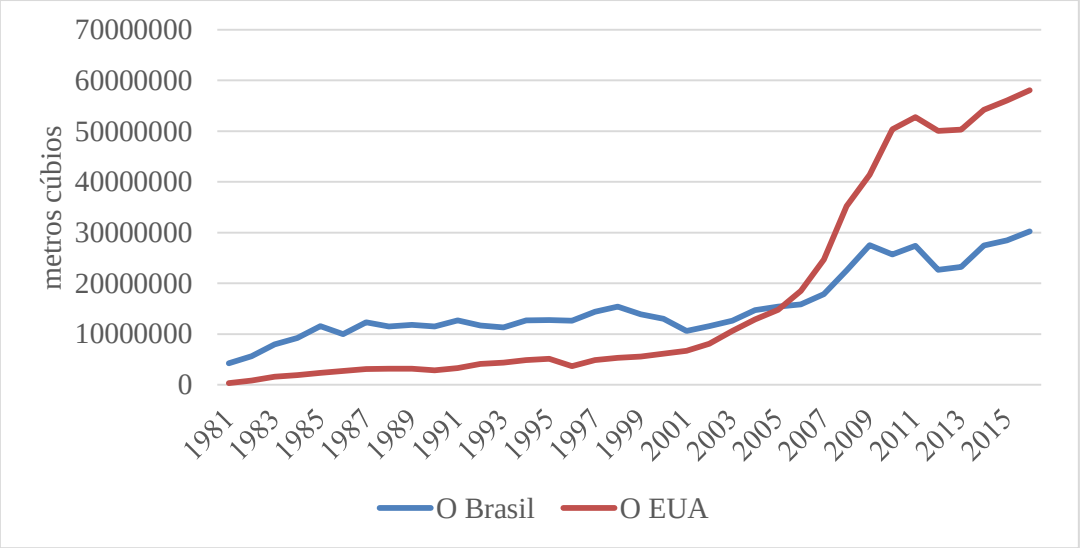
Nota: *Valores preliminares.
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do USDOE (2017).

Gráfico 7 – Preço das *commodities* agrícolas



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do IMF-IFS (2017).

Gráfico 8 – Produção (oferta) de etanol



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do USDOE (2017) e ANP/IPEADATA (2017).

ENSAIO 3: MUDANÇAS NO MERCADO INTERNACIONAL DE ETANOL: CALIBRAÇÃO DE UM MODELO ESPACIAL USANDO PCM

1 INTRODUÇÃO

O etanol é o principal biocombustível produzido no mundo atualmente, tendo sua produção ultrapassado a casa dos 100 bilhões de litros em 2016 de acordo com dados da *Renewable Fuels Association* (RFA, 2017). O mercado é liderado pelos Estados Unidos (EUA) e pelo Brasil, tanto na produção (cerca de 56 e 29%, respectivamente, do total produzido) quanto no consumo (aproximadamente 55 e 26%, respectivamente, do total consumido), chegando a exportar conjuntamente 4,6 bilhões de litros em 2016.

De acordo com Goldemberg (2007), a energia renovável é uma das maneiras mais eficientes para alcançar o desenvolvimento sustentável. O aumento da sua participação na matriz mundial vai ajudar a prolongar a existência de reservas de combustíveis fósseis, reduzir as ameaças representadas pelas mudanças climáticas, e permitir uma melhor segurança do fornecimento de energia em uma escala global. A maioria das "novas fontes de energia renováveis" em grande escala comercial ainda estão em fase de desenvolvimento, mas algumas tecnologias já estão bem estabelecidas. Estas incluem o etanol de cana-de-açúcar brasileiro, que, depois de 30 anos de produção, é uma *commodity* energética global que é totalmente competitivo com a gasolina e apropriado para a replicação em muitos países.

No Brasil, segundo maior produtor e exportador mundial de etanol, a produção compete com o açúcar, mercado no qual o país também é um importante *player* a nível mundial. Atualmente, o país produz aproximadamente 26 bilhões de litros de etanol por ano e possui aproximadamente 400 usinas instaladas no país de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2017), tendo exportado no ano de 2015, conforme dados da Secretaria do Comércio Exterior (SECEX, 2017), 1,8 bilhões de litros. A produção de cana-de-açúcar no Brasil em 2014/15 foi de 654 milhões de toneladas, sendo deste total colhido produzidos 28,6 bilhões de litros de etanol e 35,5 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2016)[46].

[46] De acordo com a ANP (2017) a capacidade máxima instalada para produção de etanol hidratado é de cerca de 206 mil m³ diários e a de etanol anidro, produzido a partir da desidratação do etanol hidratado, é de 111 mil m³ diários. A capacidade de produção da ANP é definida como o volume diário, em m³, de acordo com a Resolução ANP nº 26 de 30/08/2012 (DOU de 31/08/2012).

A produção de etanol nos EUA, maior produtor e exportador, tem sido ligada direta ou pelo menos em parte, ao aumento no preço de *commodities* alimentares, transferido de forma indireta devido a utilização do milho como principal insumo na produção de etanol em grande escala (ZHANG *et al*., 2009; CHAKRAVORTY *et al*., 2010; SERRA *et al*., 2011; e ROBERTS; SCHLENKER, 2013). Logo, essa discussão existente na literatura internacional questiona os subsídios dados a indústria de etanol, concedidos pelo governo americano, e também aos produtores de milho que destinam a sua produção a esse setor. O aumento na demanda por milho, eleva o preço do milho, causando a substituição na produção de outras culturas e elevando o custo em outros setores que também utilizam o milho como insumo (alimentação animal). Existe assim, pesquisadores[47] que defendem uma maior liberalização no comércio do etanol, apoiando a retirada de tarifas à importação do etanol brasileiro por parte dos EUA, que tornam o preço de mercado do produto brasileiro mais altos, criando assim barreiras para que o mesmo possa concorrer igualmente com o produto americano no maior mercado consumidor do mundo.

No caso do Brasil, mesmo com o aumento da produção e do uso de etanol, não se pode afirmar que existe uma influência significativa deste com a produção de alimentos (CHAGAS; TONETO-JÚNIOR; AZZONI, 2008; AGUIAR; DA COSTA, 2017), além disso ele possui maior eficiência energética na redução da emissão de gases de efeito estufa do que o etanol a base de milho. Com relação aos alimentos, Bacha (2009) aponta que na última década a produção per capita de frutas, matérias-primas agrícolas, alimentos e bebidas aumentou. Este ganho foi acompanhado por fortes aumentos de produtividade na agricultura, bem como um aumento no uso da terra. Cabe destacar ainda, de acordo com Ferreira Filho e Horridge (2014), que o Brasil tem ainda um vasto estoque de terra que pode ser convertido para usos agrícolas.

As projeções internacionais, realizadas pela *International Energy Agency* (IEA, 2016)[48], apontam que o Brasil deve passar de um cenário em que 22% da frota rodoviária usam, etanol ou biodiesel, para aproximadamente 35% usando combustíveis renováveis em 2035. Além de ser um dos líderes mundiais na produção de etanol, ao lado dos EUA,

[47] Ver Zilberman *et al*. (2012) que apresentam uma revisão mais completa a respeito dos resultados e considerações das pesquisas em questão.

[48] As projeções da IEA, apresentadas no *World Energy Outlook* 2012, são de que o consumo mundial de etanol deve mais do que triplicar nas próximas três décadas. Conforme a IEA o aumento virá de vários países, cerca de 130% nos EUA, aproximadamente 165% no Brasil, na Europa, em que quase não se consumia etanol em 2010, o consumo deve ser de cerca de 11,5 bilhões de litros/ano. Outro mercado que deve ter importante aumento de demanda é o Asiático.

o desempenho do setor no país é bem superior ao das outras regiões do mundo, sendo que em três décadas, a parcela dos renováveis deve chegar a 19% nos EUA, 13% na Europa e 4% na Ásia.

Assim, a discussão existente na literatura ligada ao mercado de etanol envolve não só a preocupação com a questão alimentar, mas também gira em torno do aquecimento global e por consequência da substituição da matriz energética mundial, baseada, maior parcela, em produtos oriundos do petróleo, por combustíveis menos poluentes, os biocombustíveis, o que remonta a ideia de utilizar o comércio internacional para suprir a demanda em países não produtores ou que possuem demanda superior a produção interna. Deste modo, visa-se contribuir no sentido de construir cenários alternativos que mostrem quais seriam os possíveis impactos na economia das medidas sugeridas, projeções e também ações que são demandadas por agentes desse mercado, podendo ser um sinalizador de quais seriam os efeitos no comércio internacional.

Desta forma, visando analisar a dinâmica no comércio internacional de etanol e como o mercado reagiria a alterações em prol de um "benefício maior", levando em consideração mudanças ligadas a políticas discutidas atualmente, o presente estudo busca contribuir com a discussão existente apontando possíveis cenários resultantes de mudanças no ambiente econômico atual, caso essas sejam implementadas. Assim delineia-se como objetivo avaliar quais são os impactos no comércio nacional e internacional de etanol, simulando novos cenários com base nas discussões propostas na literatura existente, interligando os resultados com apontamentos de políticas públicas e a situação atual do mercado de etanol. Logo, busca-se apresentar uma possível resposta para a discussão existente, com o embasamento da metodologia proposta, a fim de contribuir com a literatura sobre o mercado internacional de etanol.

Para tanto, utiliza-se um modelo de equilíbrio parcial, formulado como um Problema de Complementaridade Mista (PCM)[49] incluindo tarifas comerciais e subsídios. Em um primeiro momento, um aumento na oferta de etanol brasileiro é simulado, posteriormente, a tarifa de importação ao etanol brasileiro por parte dos EUA é removida e a imposição de uma tarifa de importação mais alta por parte do Brasil ao etanol oriundo dos EUA é testada, e por fim, da mesma forma, um aumento na demanda de etanol no Brasil é simulada, testando-se também a mudança de tarifas[50].

[49] Termo em inglês: *Mixed Complementarity Problem.*
[50] Os cenários alternativos, assim como as suas fundamentações, são discutidos e apresentados na seção 3.

O presente estudo é composto, além desta primeira seção, por mais quatro seções. A segunda seção contempla uma breve revisão de literatura referente as principais e mais recentes contribuições sobre o mercado de etanol, ligados ao tema de pesquisa. Na terceira é apresentada a formalização do modelo de equilíbrio parcial utilizado, uma caracterização dos dados, a estratégia empírica e os cenários simulados. A quarta seção, discute os resultados das medidas ou choques simulados e sua relação com possíveis políticas públicas. E, por fim, na quinta seção, são realizadas as conclusões.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Ainda que as pesquisas presentes na literatura internacional que analisam a questão do uso de biocombustíveis sob o foco de impactos ambientais e na substituição dos combustíveis fósseis esteja relativamente consolidada, entre os quais pode-se citar Goldemberg (2007), Macedo, Seabra e Silva (2008), Reijnders e Huijbregts (2008), Gnansounou *et al*. (2009) e Galdos *et al*. (2013), existe ainda um número limitado de trabalhos que abordam o comércio no mercado de biocombustíveis, entre os principais e mais recentes trabalhos pode-se destacar Gallagher *et al*. (2003), Elobeid e Tokgoz (2008), Feijó e Alvim (2010), Gurgel (2011), Ferreira Filho e Horridge (2014) e Santos e Ferreira Filho (2017).

Gallagher *et al*. (2003) fizeram uma comparação dos efeitos das prováveis mudanças políticas e regulamentares na gasolina e aditivos no mercado norte-americano com uma base de referência. A linha de base reflete políticas da Agência de Proteção Ambiental (*US Environmental Protection Agency* - EPA) existentes sobre regulação da qualidade dos combustíveis e das prováveis expansões do petróleo e da gasolina. Os efeitos do mercado e de bem-estar são apresentados para a implementação de um padrão de combustível renovável; impor uma proibição nacional sobre o aditivo éter metil terciário butílico (MTBE)[51]; e remover o padrão de oxigênio para o combustível reformulado. As estimativas do mercado e de bem-estar são baseadas em ajustar as exigências de oferta do mercado de produtos e de fatores (suprimentos para petróleo, derivados de gás natural e milho). Como resultados, os autores auferiram, de modo geral, que há uma redução líquida no bem-estar baseada no mercado quando se tem a implementação do padrão de combustível renovável ou a proibição nacional. Mas o custo

[51] Termo em inglês: *Methyl tert - butyl ether*.

econômico pode ser mais do que compensado pela melhoria do ambiente, pois a expansão da produção de etanol provavelmente melhora a questão do aquecimento global. Logo, para os autores, a decisão política deve pesar os custos de mercado contra benefícios ambientais intangíveis.

Elobeid e Tokgoz (2008) analisaram o impacto da liberalização do comércio e remoção do crédito tributário federal nos EUA sobre os mercados de etanol utilizando um modelo internacional multimercado de etanol. Os resultados mostraram que as barreiras comerciais dos EUA têm sido eficazes em proteger a indústria do etanol. Sob a política atual, não há uma separação entre o mercado de etanol dos EUA e mercados mundiais. Com a liberalização do comércio, o mercado de etanol se aprofunda, tornando-o menos suscetível à volatilidade dos preços. O efeito da liberalização do comércio se estende para além dos mercados de etanol, afetando mercados agrícolas. Os resultados mostram que o impacto da remoção do crédito fiscal substitui o impacto da remoção de tarifas.

Feijó e Alvim (2010) avaliaram os impactos econômicos no Brasil quando ocorre uma mudança tecnológica no setor de cana-de-açúcar, em função de um aumento da demanda mundial por etanol. O instrumento utilizado para as simulações dos cenários, o GTAP (*Global Trade Analysis Project*), foi um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) com uma base de dados de 87 países e 57 setores e suas interligações. Os resultados obtidos com as simulações apresentaram ganhos de bem-estar e aumento do PIB para todas as regiões consideradas no modelo. Para o Brasil, o cenário que mostra maiores ganhos ocorre quando se simula uma melhora tecnológica e uma liberação total para a comercialização do etanol. Esses ganhos viriam, principalmente, do efeito direto da melhora tecnológica na produção e da melhor alocação dos recursos produtivos nos setores de manufaturas e no próprio setor sucroálcooleiro.

Gurgel (2011) estimou os impactos do crescimento da demanda de etanol no Brasil e nos EUA sobre a produção agrícola e o uso da terra, utilizando um modelo econômico global capaz de representar os mercados agropecuários e de energia, as relações comerciais entre os países, a produção e demanda de etanol no Brasil e nos EUA e mudanças no uso da terra. Aumentos na demanda de etanol no Brasil e nos EUA são simulados de forma a refletir a política norte-americana e projeções da demanda brasileira para a próxima década. Os resultados sugeridos são que o Brasil deve ter uma especialização na produção de cana-de-açúcar e etanol em detrimento de outros produtos agropecuários. A área cultivada com cana-de-açúcar aumentaria de 5 milhões para 15 a 20 milhões de hectares em 2020, substituindo áreas de pastagens, de outras culturas e de

silvicultura. Cerca de 2,5 milhões de hectares de Cerrado seriam convertidos para agricultura, enquanto a floresta tropical teria impactos consideráveis apenas se as barreiras comerciais às importações de etanol nos EUA fossem reduzidas.

Ferreira Filho e Horridge (2014) analisaram os efeitos na mudança do uso indireto da terra (ILUC) da expansão da produção de etanol no Brasil através da utilização de um modelo dinâmico de equilíbrio geral inter-regional calibrado com a matriz Insumo-Produto brasileira de 2005. O uso da terra agrícola é modelado separadamente em cada uma das 15 regiões do país, distinguindo a área de terras brasileiras em três grandes tipos de uso agrícola da terra, colheita, pasto e plantação florestal. Os autores simularam um cenário de expansão do etanol para o ano de 2020, em que se permite o aumento da oferta de terras apenas em estados localizados na fronteira agrícola. Os resultados sugerem que cada novo hectare de cana-de-açúcar requer apenas 0,14 ha de novas terras, com mais de 0,47 ha convertidos de utilização da pastagem. É sugerido, pelos autores, que políticas que limitem o desmatamento não são susceptíveis de impedir uma maior produção de etanol, e que as diferenças regionais de produtividade de cana-de-açúcar são elementos importantes para efeitos ILUC da expansão da cana-de-açúcar.

Santos e Ferreira Filho (2017) analisaram os impactos econômicos da política de substituição de combustíveis fósseis na economia brasileira detalhados no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, com ênfase nas análises regionais e nos impactos sobre as emissões de gases de efeito estufa, por meio de um modelo de EGC, projetado para análises relativas a emissões. Os resultados revelaram que a substituição prevista no PNE traria resultados econômicos positivos para a economia, com efeitos benéficos também em termos da desconcentração regional da atividade econômica, reduções das emissões dos principais combustíveis fósseis da matriz energética, das emissões totais de gases de efeito estufa e também que as políticas analisadas trariam benefícios distributivos, com elevação da renda das famílias mais pobres.

3 METODOLOGIA

3.1 Estrutura do modelo

O modelo utilizado para a obtenção das estimativas do presente estudo é um método de programação matemático fundamentado no modelo proposto por Takayama e Judge (1971) desenvolvido baseado no trabalho de Samuelson (1952). Assim, o modelo

descrito a seguir é formulado como um PCM, um modelo de equilíbrio espacial, conforme proposto por Rutheford (1995), Waquil (1995), Bishop, Nicholson e Pratt (2001), Alvim (2003, 2010), Alvim e Waquil (2004) e Nicholson e Bishop (2004), com base no problema de otimização com restrições representadas sob a forma de desigualdades.

O método supõe que os produtos são homogêneos e leva em consideração funções de oferta e de demanda de cada região, os custos de transporte entre as regiões e a presença de barreiras comerciais, levando a estimar as quantidades produzidas e consumidas, os fluxos comerciais e o nível de preços em equilíbrio. O PCM tem a vantagem de permitir a incorporação de tarifas, cotas e subsídios mais facilmente do que os modelos primal-dual.

O PCM define um equilíbrio espacial, relacionando a produção de etanol nas diversas regiões (relação espacial). Assume-se que os preços, quantidades ofertadas e demandadas e os fluxos comerciais sejam variáveis endógenas. Outros fatores, como tecnologia, custos de processamento, composição dos produtos, preferências e crescimento populacional são variáveis exógenas ao modelo.

O modelo leva em consideração as funções de oferta e demanda por etanol em cada região. Juntamente com os custos de transporte entre regiões e a presença de barreiras ao comércio, é possível estimar as quantidades produzidas e consumidas, os fluxos comerciais e os preços em equilíbrio. A partir desses resultados, pode-se também calcular os níveis de bem-estar, medidos pelo excedente do produtor e o excedente do consumidor, bem como as variações ocorridas a partir de diferentes cenários simulados, permitindo a avaliação dos ganhos ou perdas em cada situação.

A formulação do PCM é dada por:

$$q_j^d \leq \sum_i^I X_{i,j} \qquad \lambda_j \geq 0 \qquad \left[q_j^d - \sum_i^I X_{i,j}\right].\lambda_j = 0 \tag{1}$$

$$\sum_j^J X_{i,j} \leq q_i^s \qquad \varphi_i \geq 0 \qquad \left[\sum_j^J X_{i,j} - q_i^s\right].\varphi_i = 0 \tag{2}$$

$$\lambda_j \leq \varphi_i + t_{i,j} \quad X_{i,j} \geq 0 \quad \left(\lambda_j - \left(t_{i,j} + \varphi_i\right)\left(1 + tar_{i,j}\right) - subs_{i,j}\right).X_{i,j} = 0 \tag{3}$$

A equação (1) mostra que quando o preço de mercado do consumidor, que é representado pelo preço sombra λ_j, é igual a zero a soma total negociada do país *i* para o país j ($\sum_i^I X_{i,j}$) será maior do que a quantidade exigida pelo país j (q_j^d). Mas se o preço

que os consumidores desejam pagar é maior do que zero, então, o total comercializado do país *i* para o país *j* será igual à quantidade exigida no país *j*. Da mesma forma, a equação (2) mostra que, quando o preço de mercado do produtor, que é representado pelo preço sombra φ_i, é igual a zero a soma do total negociada do país *i* no país *j* ($\sum_j^J X_{i,j}$) será menor do que a quantidade fornecida pela país *i* (q_i^s). Porém se o preço que os produtores desejam receber é maior do que zero, então, o total comercializado do país *i* para o país *j* será igual à quantidade fornecida no país *i*.

Em conformidade com a condição de complementaridade dada pela equação (3), o preço de mercado da região de demanda *j* (λ_j) deve ser menor do que o preço de oferta para a região *i* (φ_i) adicionados os custos de levar o bem para a região de demanda ($t_{i,j}$), os subsídios ($subs_{i,j}$) e a tarifa ($tar_{i,j}$) correspondente ao produto, o que depende das políticas de cada país. Se este montante for superior ao preço de mercado da região *j*, os fluxos comerciais do produto da região da oferta *i* à região de demanda *j* não será posto em prática. Assim, a condição em que a soma dos preços e dos custos é superior à disposição do consumidor de pagar deve levar em conta uma redução do comércio do consumidor, ou seja, os custos excessivamente elevados podem restringir o fluxo de comércio entre as regiões e/ou países.

Logo, a solução ideal é obtida a partir da convergência das equações complementares (1), (2), e (3). Os cenários de base e alternativos podem ser criados a partir dos resultados obtidos nesta fase.

3.2 Dados

A base de dados é formada pelas quantidades ofertadas e demandadas e os respectivos preços do etanol (Quadro 1). A quantidade ofertada de etanol foi obtida junto ao banco de dados da RFA e ANP, trata-se da média produzida dos três últimos anos (de 2014 a 2016), para quantidade demandada considerou-se para os EUA e Brasil a média de consumo dos três últimos anos (de 2014 a 2016) obtidas junto ao Departamento de Energia dos EUA (USDOE, 2017) e ANP, respectivamente, para os demais países utilizou-se a média da quantidade produzida acrescentada da média da quantidade importada por eles (de 2014 a 2016) como *proxy* para consumo médio, dado que estes são importadores por ainda não ter autossuficiência na produção, sendo os dados oriundos da RFA e SECEX (para o destino das exportações brasileiras).

Os preços utilizados para a implantação do modelo foram obtidos do *Weekly Global Ethanol Report* (WGER, 2015), também do *European Renewable Ethanol* (EPURE, 2015) especificamente para a União Europeia (UE), sendo utilizado os dados de preços (US$/m^3) de 2015 em virtude da limitação e incompatibilidade informações. O uso da média dos últimos três anos, conforme Alvim (2010), reduz possíveis efeitos de alterações eventuais nos níveis das variáveis, causadas por choques ou mudanças abruptas na economia, por eventos climáticos ou por outros fatores que afetam, ocasionalmente, produção, consumo e preços.

Além destas informações, também é utilizado as elasticidades-preço de oferta e de demanda, os subsídios, tarifas, quotas tarifárias e custos de transporte, descritas no Quadro 1, assim como suas respectivas fontes[52]. Os custos totais de transporte entre as regiões em estudo foram calculados com base no custo de transporte de biocombustíveis via marítima (US$/mil milhas marítimas), obtido a partir de dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e das distâncias (milhas marítimas) entre os países/regiões em análise (Quadro 2). Como não existe uma tarifa comum em todos os países pertencentes às regiões definidas na área de estudo, foram utilizadas as tarifas médias dos países importadores dos blocos ou regiões escolhidas. Os subsídios e quotas tarifárias considerados no modelo foram aplicados exclusivamente para os Estados Unidos, Canadá e países da UE.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas e suas respectivas fontes

Variáveis	**Fontes**
Produção, consumo, exportação, importação e preços do etanol	(RFA, 2017), (USDOE, 2017), (ANP, 2017), (SECEX, 2017), (WGER, 2015) e (EPURE, 2015).
Elasticidades (*e*) de Oferta e de Demanda	Estimadas para o período de 1981 a 2016 com base nos trabalhos de Roberts e Schlenker (2009, 2013) e Luchansky e Monks (2009), individualmente para o Brasil e EUA e de forma agregada para o mercado mundial[53].
Custo de Transporte	World Bank (2002); United States Department of Agriculture – Agriculture Marketing Services (USDA-AMS, 2007).
Tarifas, quotas tarifárias e subsídios	United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2018) e (EPURE, 2015).

Fonte: Elaboração própria

[52] Os valores para os preços e elasticidades utilizados para implementação do modelo podem ser observados na Tabela 8 do Apêndice C.

[53] Como para as demais regiões não se tem informações a respeito das elasticidades de oferta e de demanda para o mercado de etanol, utiliza-se como *proxy* as elasticidades estimadas para o mercado mundial visto que o corte realizado representa aproximadamente 85% do mercado.

A área de estudo abrange o mercado mundial de etanol, que inclui todos os países produtores, exportadores, importadores e consumidores do produto. Para viabilizar o processo de modelagem e a análise dos cenários de integração dos mercados, os países são agrupados em regiões. O critério para escolha leva em conta a relevância em termos de produção, consumo, importação e exportação. Entre os países e blocos relevantes, definiram-se seis regiões, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Distribuição das regiões para a construção dos cenários

1	Estados Unidos (EUA)
2	Brasil
3	União Européia (UE): Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido, Suécia, Chipre, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Hungria, Letônia, Lituânia, Malta, Polônia e República Tcheca.
4	China
5	Canadá
6	Resto do mundo (RM): inclui todos os demais países, não pertencentes às regiões ou blocos anteriormente citados.

Fonte: Elaboração própria

A seguir, na próxima subseção, são apresentados os cenários alternativos e os fundamentados que justificam o uso dos mesmos.

3.3 Cenários

O Brasil assumiu o compromisso na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21, 2015) de redução das emissões de carbono em 43% que demandam um aumento de cerca de 18% de bioenergia até 2030, sendo necessário produzir cerca de 50 bilhões de litros de etanol, de acordo com as metas do RenovaBio (2017)[54]. Um aumento de 67% considerando o último ano safra (as usinas brasileiras produziram aproximadamente 30 bilhões de litros em 2016, conforme dados da ANP) e precisando quase dobrar a produção levando em conta o valor estimado para o cenário-

[54] Programa do Governo Federal brasileiro lançado pelo Ministério de Minas e Energia, em dezembro de 2016, cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento do mercado.

base, a partir do valor observado para a média dos últimos três anos considerados na análise (2014 a 2016).

O comércio internacional de etanol, nos últimos anos, tem demonstrado um cenário favorável aos EUA, maior produtor e exportador mundial, que teve aumentos crescentes no percentual exportado para o Brasil (principalmente nos três últimos anos), o que colocou os agentes do mercado brasileiro em alerta devido à concorrência com o etanol brasileiro que é dependente do mercado interno. Desta forma a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) passou a demandar a imposição de uma tarifa de importação sobre o etanol, que não era cobrada pelo Brasil. Considerando isso e o avanço do produto dos EUA sobre o mercado brasileiro, a Câmara de Comércio Exterior (Camex) do Brasil aprovou em agosto de 2017 uma tarifa de 20 por cento na importação de etanol para volumes que excederem 600 milhões de litros ao ano, uma medida que atinge o produto dos EUA.

A discussão existente na revisão de literatura e alguns dos estudos citados, tem indicado que uma melhoria no comércio internacional, como a retirada de tarifas sobre a importação do etanol brasileiro por parte dos EUA, faria com que o etanol brasileiro pudesse concorrer de forma mais igual com o etanol subsidiado nesse mercado, o que poderia trazer benefícios a questão ambiental, dado a maior eficiência energética do etanol brasileiro na redução das emissões de gases causadores do efeito estufa, e também amenizar a questão do aumento da demanda e parcela de milho destinado a produção do etanol nos EUA, relacionado ao menos em parte ao aumento de preços dos alimentos, via redução de demanda.

Santos e Ferreira Filho (2017) simulam choques no mercado de biocombustíveis, entre os quais um aumento no consumo de etanol pelas famílias em 5,6% ao ano (200% de 2010 a 2030), considerando o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), para analisar os impactos potenciais sobre a economia brasileira de uma ampliação na produção e uso de etanol e biodiesel, como substituição de parte dos combustíveis fósseis, tendo como base o cenário projetado pelo PNE 2030. Considerando essa projeção, para o período de 2017 a 2030 o crescimento seria próximo a dobrar o consumo atual (um pouco superior a 100%).

O PNE 2030 é oriundo da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que busca ordenar as ações do governo brasileiro com vistas à necessidade de conciliar o desenvolvimento econômico-social com práticas, atividades e tecnologias de baixas emissões de gases. O PNMC tem

como meta a redução das emissões totais entre 36,10% a 38,90% até 2020, e compreende políticas que têm como um dos seus objetivos elevar a participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira (SANTOS; FERREIRA FILHO, 2017).

Assim, considerando os argumentos apresentados anteriormente, foram elaborados quatro cenários, os quais são detalhados no Quadro 3, para avaliar os impactos destes sobre o cenário atual no mercado de etanol, dado a mudança da política comercial, as projeções para o setor no Brasil e a discussão em torno do comércio internacional.

Quadro 3 - Cenários considerados para a análise de resultados

Cenário	Definição
1	Choque de oferta de etanol brasileiro (100%).
2	Choque de oferta de etanol brasileiro (100%) com a imposição pelo governo brasileiro de tarifa de importação (20%) ao etanol dos EUA e eliminação da tarifa de importação pelo governo dos EUA ao etanol brasileiro.
3	Choque de demanda no mercado brasileiro (100%).
4	Choque de demanda no mercado brasileiro (100%) com a imposição pelo governo brasileiro de tarifa de importação (20%) ao etanol dos EUA e eliminação da tarifa de importação pelo governo dos EUA ao etanol brasileiro.

Fonte: Elaboração própria

Para realizar as simulações utilizaram-se os *solvers Path*[55], do *General Algebraic Modeling System* (GAMS). Na próxima seção, são apresentados o cenário-base e as principais mudanças ocorridas nos diversos cenários alternativos em função da simulação de mudanças na produção, consumo e alterações nas tarifas no comércio internacional de etanol.

4 RESULTADOS

4.1 Calibragem do modelo e cenário-base

A validação de modelos de programação matemática, conforme Alvim (2010), geralmente é feita através da checagem da solução do problema, comparando-a com a situação real. Neste sentido, de acordo com Waquil (1995), em casos de não se obter

[55] Ver Ferris e Munson (2005).

resultados coerentes com os valores, o modelo deve ser reavaliado em termos de adequação dos coeficientes e da estrutura.

Desta forma, visando validar o modelo utilizado, são obtidos os resultados estimados do modelo aplicado para o cenário-base e realizada a calibragem para ajustar à situação do ambiente econômico atual, analisando a forma com que os resultados estimados e utilizados como cenário-base refletem os valores observados (Tabela 1).

Tabela 1 - Variações na oferta, demanda e preços na calibragem do modelo utilizado como cenário-base

Países	Oferta	Demanda	Po	Pd
	Variação (%)			
Estados Unidos	2,26	-4,44	1,14	1,14
Brasil	-7,03	1,76	-2,03	-2,03
União Europeia	-2,35	9,93	-1,75	-1,75
China	0,99	-3,84	0,73	0,73
Canadá	-2,01	8,42	-1,50	-1,50
Resto do mundo	-0,52	2,08	-0,38	-0,38

Nota: As siglas Po e Pd representam, respectivamente, Preço de oferta e de demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

A Tabela 1 apresenta os resultados (variações) da calibragem do modelo. Logo, analisadas as variáveis produção (oferta) e consumo (demanda) de etanol, assim como os respectivos preços, verifica-se que a diferença máxima entre os valores observados e estimados é inferior a 10%. Assim, o modelo pode ser validado no cenário-base, visto que os resultados no mundo real são condizentes com aqueles estimados pelo modelo.

Na Tabela 2, são apresentados os níveis de produção, consumo e participação de mercado do setor de etanol observado e no cenário-base. Os maiores produtores mundiais são os EUA e o Brasil, que produzem juntos cerca de 84 milhões de metros cúbicos (m^3) ao ano, representando aproximadamente 85% da produção global. Além da importante participação no volume produzido, esses países possuem também grande peso no total consumido. Os EUA são os maiores consumidores (55,03% do total mundial considerando a média de consumo observada de 2014 a 2016), seguido pelo Brasil, com cerca de 27%.

Tabela 2 - Produção e consumo médio de etanol observado e estimado (2014-2016)

	Produção		Consumo		Produção		Consumo	
	Observado				Estimado			
Países	m^3	%	m^3	%	m^3	%	m^3	%
EUA	56 068 257,78	56,23	55 026 353,85	55,03	57 337 720,00	58,03	52581300,00	53,22
Brasil	28 729 547,00	28,81	26 247 056,25	26,25	26 710 210,00	27,03	26710210,00	27,03
UE	5 310 932,76	5,33	5 394 940,37	5,40	5 185 899,00	5,25	6048346,26	6,12
China	2 893 316,42	2,90	3 375 488,72	3,38	2 921 958,00	2,96	3245877,47	3,29
Canadá	1 743 813,04	1,75	2 723 888,20	2,72	1 708 697,00	1,73	2953293,16	2,99
RM	4 968 983,89	4,98	7 227 525,97	7,23	4 943 306,00	5,00	7268771,48	7,36
Total	99 714 850,88	100	99 995 253,36	100	98 807 789,86	100	98 807 798,38	100

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

Com uma participação menor na produção e no consumo de etanol, mas ainda sim representativo frente aos demais países do mundo, estão os países da UE, China e Canadá. O volume produzido nesses países em conjunto representa menos de 10% do total mundial, no período analisado. Mesmo assim, o consumo nesses países tem aumentado consideravelmente, podendo ser importantes mercados consumidores de acordo com as projeções da IEA. Os países da UE consomem atualmente 5,4% (valor observado), enquanto a China consome aproximadamente 3% do volume total.

A dinâmica do comércio de etanol tem sido favorável aos EUA, anteriormente maior importador mundial de etanol, que ao ter apoio do governo, que passou a subsidiar a produção para expandir a produção, se tornou além do maior produtor mundial também o maior exportador, reduzindo substancialmente as importações oriundas do Brasil (anteriormente o maior exportador). Os EUA adotam barreiras tarifárias (10% sobre o etanol brasileiro) e subsídios (US$ 0,45/galão)[56] para manter a sua posição privilegiada. Como resultado, tem conseguido manter um nível de produção capaz de atender à demanda e os excedentes são exportados principalmente para o Canadá e Brasil (principalmente em períodos de baixa produção no mercado interno) que não possuem uma tarifa de importação para o etanol dos EUA[57].

[56] O galão de etanol vendido nos EUA equivale a aproximadamente 3,8 litros.

[57] Destaca-se que para o período analisado (2014-2016) o Brasil ainda não tinha nenhuma tarifa de importação sobre o etanol dos EUA, sendo essa aprovada, como descrito anteriormente, em agosto de 2017.

4.2 Cenários alternativos

Nesta subseção, são avaliadas as principais alterações em termos de produção, consumo, fluxos comerciais e preços em vista das mudanças nas barreiras tarifárias e na projeção de novas relações de produção e consumo no mercado brasileiro em relação ao cenário-base, utilizando um modelo de alocação espacial apresentado na seção anterior. O objetivo de delimitar cenários alternativos é avaliar as possíveis mudanças no mercado de etanol mediante a implantação de políticas comerciais dado as projeções para o setor no Brasil.

A partir do cenário-base e tendo em vista os argumentos apresentados na subseção 3.3, são simulados quatro cenários alternativos: primeiro (C1), um choque na oferta de etanol brasileiro (crescimento de 100%); segundo (C2), um choque na oferta de etanol brasileiro aliado a remoção da barreira dos EUA em relação a tarifa de importação ao etanol brasileiro e a imposição de uma tarifa de importação (20%) por parte do Brasil ao etanol dos EUA; terceiro (C3), um choque na demanda de etanol no mercado brasileiro (crescimento de 100%); e por fim (C4), da mesma forma que no segundo, o choque na demanda de etanol no Brasil é simulado, testando-se também a mudança nas tarifas (remoção da tarifa dos EUA sobre o etanol brasileiro e imposição de barreiras do Brasil ao etanol dos EUA, implantando a tarifa de importação de 20%).

Assim, o novo padrão de produção do cenário 1 (C1) está embasado nas metas do RenovaBio (2017), adicionalmente no cenário 2 (C2), além do novo padrão de produção, são introduzidas as mudanças na política comercial oriundas da aprovação da Camex para o Brasil (tarifa de importação de 20%) e das discussões existentes na literatura acerca de benefícios ao produto brasileiro por parte dos EUA removendo a barreira tarifária. Da mesma forma, no cenário 3 (C3) um novo padrão de consumo é simulado, com base nas projeções do PNE 2030 para 2017 a 2030, e por fim, no cenário 4 (C4), além do novo padrão de consumo, a mudança na política comercial (tarifas) é simulada.

Segundo Alvim (2010), a elasticidade de demanda (e_D) pode ter variações nos países analisados em relação ao cenário-base caso haja mudanças na renda, produtos substitutos, na essencialidade do bem ou, simplesmente, na preferência dos consumidores. Assim como, a elasticidade de oferta (e_O) pode ter variações caso haja mudanças tecnológicas na produção e/ou comercialização, novas alternativas na produção, entre outros aspectos. Produtos com maior elasticidade são mais sensíveis a variações nos preços e vice-versa. Portanto, visando avaliar a mudança nos cenários

simulados dado possíveis mudanças nas elasticidades, realizou-se a análise de sensibilidade para variações nas mesmas, apresentando os resultados para as elasticidades estimadas ($e_D; e_O$) utilizadas para implementação do modelo, para um incremento de 50% ($e_D + 50\%; e_O + 50\%$) e uma redução de 50% ($e_D - 50\%; e_O - 50\%$).

Os resultados da Tabela 3 mostram como o desempenho dos produtores e o consumo nas regiões analisadas modificam quando é simulado um aumento de oferta de etanol brasileiro.

Nesse cenário (painel A), o aumento na oferta de etanol brasileiro não é proporcional ao choque, chegando a um aumento de cerca de 34%, sendo que os excedentes desse aumento de oferta seriam consumidos apenas em parte no mercado interno, aproximadamente 10%, os principais aumentos de demanda (consumo) em termos percentuais ocorrem na China (aumento de 54,36%) e no grupo dos demais países que compõe o grupo RM (21,16%).

Um choque na oferta de etanol brasileiro implica também na redução na produção em todas as regiões, afetando principalmente a China (-10,35%), e tendo pouco efeito sobre a produção dos países da UE (-0,92%) e dos EUA (-1,35%) que também tem pequena variação na demanda (2,80%). O aumento de oferta do produto brasileiro não acompanhado pela demanda interna implica em uma redução nos preços, em torno de 10,6%, dado o excesso de oferta, sendo a redução de preços verificada também nos demais países em virtude do aumento da oferta no mercado internacional.

Tabela 3 - Variação na produção, consumo e preços no cenário de um choque de oferta no etanol brasileiro (C1)

	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
Países	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd
EUA	-1,35	2,80	-0,69	-0,69	-0,29	0,60	-0,47	-0,47	-4,56	9,94	-3,52	-3,52
Brasil	34,32	10,03	-10,58	-10,58	25,33	11,85	-7,75	-7,75	53,75	6,57	-15,48	-15,48
UE	-0,92	3,75	-0,69	-0,69	-2,13	8,92	-0,47	-0,47	-1,28	5,27	-3,62	-3,62
China	-10,35	54,36	-7,79	-7,79	-9,16	46,48	-4,88	-4,88	-9,29	47,33	-12,85	-12,85
Canadá	-0,92	3,75	-0,68	-0,68	-1,96	8,17	-0,47	-0,47	-1,39	10,68	-3,52	-3,52
RM	-4,72	21,16	-3,52	-3,52	-1,21	4,96	-0,47	-0,47	-5,78	26,69	-8,81	-8,81

Nota: As siglas O, D, Po e Pd representam, respectivamente, Oferta, Demanda e Preço de oferta e demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

Ao ser realizado a análise de sensibilidade (painéis B e C), analisando-se os resultados com variações das elasticidades, pode-se perceber que o sentido dos impactos no mercado de etanol não se altera, apenas a magnitude dos mesmos. Visto que com o

aumento das elasticidades (painel B) se tem um menor efeito sobre a redução nos preços, resultante de um efeito menor na produção de etanol brasileiro (aumento de 25,33%), porém dado os preços menores a demanda aumenta de magnitude no Brasil (próxima a 12%), UE e Canadá em comparação ao primeiro cenário (painel A), tendo redução nos demais países.

A redução das elasticidades (painel C) implica em um aumento mais significativo na produção brasileira (chegando a quase 54%) o que implicaria em uma redução mais elevada nos preços internos (cerca de 15,5%), com esse nível de preços o etanol brasileiro se torna mais atrativo para os EUA, impactando em uma redução na produção interna de 4,56% e um aumento na demanda de quase 10%, com uma variação negativa mais significativa dos preços (-3,52%) dos EUA.

Quando o aumento da oferta de etanol brasileiro é acompanhado de mudanças nas políticas comerciais, em específico nas tarifas, conforme é simulado no cenário 2 e os resultados apresentados na Tabela 4, o impacto sobre o mercado de etanol tem variações mais significativas na relação de comércio entre Brasil e EUA que são os principais *players* envolvidos na mudança das políticas comerciais.

Tabela 4 - Variação na produção, consumo e preços no cenário 2

	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
Países	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd
EUA	-3,46	7,41	-1,76	-1,76	-0,29	0,60	-0,47	-0,47	-6,66	15,02	-5,66	-5,66
Brasil	43,25	8,34	-8,94	-8,94	25,33	11,85	-7,75	-7,75	63,32	5,02	-12,56	-12,56
UE	-2,37	9,98	-1,76	-1,76	-2,13	8,92	-0,47	-0,47	-2,59	10,99	-5,51	-5,51
China	-8,14	40,12	-6,11	-6,11	-9,16	46,48	-4,88	-4,88	-7,19	34,54	-9,84	-9,84
Canadá	-2,37	9,98	-1,76	-1,76	-1,96	8,17	-0,47	-0,47	-2,76	12,25	-5,51	-5,51
RM	-2,37	9,99	-1,76	-1,76	-1,21	4,96	-0,47	-0,47	-3,60	15,69	-5,66	-5,66

Nota: As siglas O, D, Po e Pd representam, respectivamente, Oferta, Demanda e Preço de oferta e demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

Como pode ser observado (Tabela 4), o choque de oferta tem um maior impacto na quantidade ofertada pelo Brasil (variação de 43,25% na quantidade ofertada), dado a remoção de barreiras tarifária dos EUA e a imposição de barreiras pelo Brasil, sendo a produção nos EUA mais afetada (redução de 3,46%) do que quando existe a proteção a entrada do etanol brasileiro no mercado americano, assim como a elevação na demanda (7,41%) e a redução nos preços (-1,76) também é maior do que no C1.

Com a mudança na política comercial, o impacto sobre a produção da China passa a ser um pouco menor (de -10,35% para -8,14%), mesmo assim segue sendo a mais

afetada em termos percentuais, porém os EUA passaram a ser o segundo país mais afetado, em termos de produção, pelo aumento da oferta no Brasil. Mesmo com o aumento de oferta a proporção desta consumida internamente no Brasil reduziu (de 10,03% para 8,34%), boa parte em virtude ao aumento de demanda em outros países como os EUA, UE e Canadá, que tiveram elevação na quantidade demanda, mesmo com a variação nos preços não sendo tão significativa para o Brasil, com a mudança nas tarifas (levando em consideração o C1), a eliminação de barreiras e um maior protecionismo fizeram com que os excedentes gerados fossem direcionados, em maior parcela, ao comércio internacional.

Os resultados da análise de sensibilidade para o choque de oferta com mudanças nas tarifas, mostra que as variações nas elasticidades impactam de maneira semelhante nas magnitudes das relações de comércio do C1, porém com variações mais significativas principalmente no caso de uma redução das elasticidades (painel C). No entanto, cabe destacar que no caso de um aumento nas elasticidades (painel B) o efeito da mudança nas tarifas não tem impacto sobre o mercado de etanol, visto que as variações neste são iguais no C1 e C2.

A seguir, são apresentados os resultados para os cenários 3 e 4, Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente, para verificar o efeito no mercado de etanol de um novo padrão de consumo (demanda) no mercado brasileiro considerando o ambiente econômico atual e posteriormente com mudança na política comercial.

Tabela 5 - Variação na produção, consumo e preços no cenário de um choque de demanda no Brasil (C3)

	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
Países	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd
EUA	8,95	-15,98	4,43	4,43	9,59	-16,93	2,74	2,74	8,33	-14,99	9,65	9,65
Brasil	25,03	89,56	6,47	6,47	23,59	90,10	4,76	4,76	26,50	88,98	11,80	11,80
UE	3,14	-11,57	2,32	2,32	3,14	-11,57	2,14	2,14	3,40	-12,45	3,25	3,25
China	2,14	-8,06	1,58	1,58	2,14	-8,06	0,81	0,81	1,68	-6,40	3,25	3,25
Canadá	6,00	-20,69	4,43	4,43	4,55	-16,20	2,74	2,74	7,49	-24,95	9,65	9,65
RM	6,00	-20,69	4,43	4,43	5,34	-18,69	2,74	2,74	6,67	-22,65	9,65	9,65

Nota: As siglas O, D, Po e Pd representam, respectivamente, Oferta, Demanda e Preço de oferta e demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

Os produtores de etanol de todos os países são beneficiados no cenário 3 (C3), devido ao aumento da demanda no Brasil, tendo como maiores beneficiados os produtores brasileiros (com aumento de 25,03% na produção) e dos EUA (aumento de cerca de 9% na produção), dado o importante aumento no volume produzido. Porém o choque de

demanda no mercado brasileiro implicou em uma redução de consumo em todos os demais países, com impactos mais significativos (em termos percentuais) no Canadá, EUA e no grupo de países do RM. Logo, na medida em que a produção cresce para atender a uma maior demanda por etanol no Brasil, os preços domésticos também sobem, afetando negativamente o consumo nos demais países.

Conforme os painéis B e C da Tabela 5, pode-se observar que, com a variação nas elasticidades de oferta e de demanda, as variações na magnitude dos efeitos foram pequenas, sendo mais significativa apenas na relação de preços. Tanto no painel A do C3, quanto nos demais (B e C), permanecem sendo China e os países da UE os menos afetados, tanto em produção quanto no consumo, pelo aumento na demanda no Brasil, ficando a variação nesses indicadores abaixo de 5% em todos os resultados do C3.

Quando a mudança na demanda por etanol no Brasil é acompanhada por imposição de barreiras à importação (tarifa de importação de 20%) de etanol e com a remoção de barreiras dos EUA a importação de etanol brasileiro, os resultados demonstram um ganho significativo aos produtores brasileiros, com a variação da produção (oferta) mais do que dobrando em comparação ao C3, como pode ser verificado na Tabela 6, em que os resultados para o C4 são apresentados.

Tabela 6 - Variação na produção, consumo e preços no cenário 4

	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
Países	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd	O	D	Po	Pd
EUA	3,12	-6,04	1,56	1,56	2,13	-4,18	0,33	0,33	5,34	-10,03	6,60	6,60
Brasil	54,38	80,20	12,97	12,97	64,29	77,57	10,49	10,49	40,45	84,27	18,57	18,57
UE	2,11	-7,96	1,56	1,56	-0,52	2,07	0,33	0,33	3,54	-12,91	3,46	3,46
China	2,11	-7,96	1,56	1,56	1,17	-4,53	0,33	0,33	1,81	-6,88	3,46	3,46
Canadá	2,11	-7,96	1,56	1,56	-0,34	1,37	0,33	0,33	5,46	-19,05	6,60	6,60
RM	3,50	-7,96	2,59	1,56	0,42	-1,64	0,33	0,33	5,37	-16,57	7,67	6,60

Nota: As siglas O, D, Po e Pd representam, respectivamente, Oferta, Demanda e Preço de oferta e demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

Os produtores dos EUA, Canadá e dos países da UE, assim como os demais países do grupo RM, têm a sua produção reduzida em comparação com o cenário sem a mudança na política comercial (alterações nas tarifas de importação) em função da eliminação das barreiras dos EUA ao etanol brasileiro e a imposição de barreiras à importação por parte do Brasil, implicando também em uma redução no consumo no Brasil quando comparado ao C3, em virtude do aumento dos preços domésticos.

A variação de preços além de reduzir o consumo no Brasil, em comparação ao cenário sem mudanças de política comercial, também impactou em um menor efeito na redução da demanda nas demais regiões. As regiões produtoras mais afetadas são o Brasil (positivamente), os EUA (negativamente) e o Canadá (negativamente) com variações na produção de 25,03%, 8,95% e 6% para 54,38%, 3,12% e 2,11%, respectivamente. Embora ocorram perdas para os produtores dos demais países, exceto o Brasil, existe, ao mesmo tempo, uma suavização na redução do consumo de etanol em todas as regiões que apresentaram redução de consumo (comparando o C3 com o C4), ocasionado pelo aumento da demanda no mercado brasileiro, dado uma menor variação no aumento dos preços no C3.

Ainda no cenário 4, pode-se analisar as variações nos ganhos ou perdas quando simuladas mudanças nas elasticidades de oferta e de demanda (painéis B e C). A análise de sensibilidade mostra que um incremento nas elasticidades ocasiona um benefício ainda maior aos produtores do Brasil e leva alguns países a passar para um cenário de redução da produção e aumento na quantidade consumida via aumento de importação, casos dos países da UE e do Canadá (painel B comparado ao A)[58]. A seguir, na Tabela 7, é apresentado um quadro resumo dos melhores cenários alternativos para cada país/região.

Tabela 7 – Melhores cenários alternativos

	Oferta	Demanda	Po	Pd
Países	Cenários			
Estados Unidos	C3	C2	C3	C2
Brasil	C4	C3	C4	C1
União Europeia	C3	C2	C3	C2
China	C3	C1	C3	C1
Canadá	C3	C2	C3	C2
Resto do mundo	C3	C1	C3	C1

Nota: As siglas Po e Pd representam, respectivamente, Preço de oferta e de demanda.
Fonte: Resultados da pesquisa

Com base na Tabela 7, pode-se observar que para a maior parte dos países o C3 é o melhor cenário para os produtores, com exceção apenas do Brasil em que os produtores têm maior ganho no C4. Para o caso do mercado de etanol no Brasil, considerando os cenários 3 e 4, a implementação da política comercial impacta em um aumento na

[58] Cabe destacar que também foram testados cenários apenas com mudança nas tarifas de importação (imposição e remoção) de forma individual e conjunta, porém as variações no mercado internacional de etanol não foram significativas, por isso optou-se por não apresentá-los.

produção (gerando ganho aos produtores) e a uma redução na demanda (gerando perda aos consumidores), o que demonstra que a política comercial traz ganhos aos produtores ao mesmo tempo que reduz a demanda interna.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo compreende a análise dos efeitos de mudanças no padrão de produção e consumo, e alterações na política comercial apresentados em quatro cenários alternativos para o mercado de etanol. Para isso, foi utilizado um modelo de alocação espacial formulado como um PCM, levando em consideração seis regiões (países e grupos de países), medindo as variações nos níveis de produção, consumo e preços-sombra em vista de mudanças nas barreiras ao comércio e alterações na produção e consumo no Brasil.

A partir do PCM, são avaliadas as possíveis mudanças no mercado internacional e os respectivos impactos sobre o setor de etanol. Nesse sentido, uma das contribuições do presente estudo é ser o primeiro a utilizar essa metodologia, que incorpora aspectos específicos do setor, para análise do mercado de etanol, dado que esse método é um importante instrumental de auxílio no processo de tomada de decisão, por meio da estimação dos ganhos ou perdas dos países ou regiões em cada cenário de mudança do ambiente econômico atual. Dessa forma, a partir das simulações de cenários alternativos, pode-se identificar quais são as melhores estratégias que permitam ampliar a produção e a renda no setor analisado.

Neste estudo, apontam-se ganhos nos quatro cenários para os produtores brasileiros de etanol. O cenário mais promissor seria o com a mudança no padrão de consumo de etanol no Brasil, acompanhado da implementação da barreira tarifária de importação e a remoção de barreiras tarifárias por parte dos EUA. Em relação aos consumidores, o aumento de produção no Brasil resulta em maiores ganhos percentuais para os consumidores da China e Brasil. Após a mudança na política comercial os consumidores dos demais países apresentaram um aumento significativo no ganho, enquanto Brasil e China tiveram seus ganhos percentuais reduzidos, porém, os consumidores da China continuam sendo os mais beneficiados, em termos percentuais, e os EUA passa a ter o maior aumento de consumo em quantidade (m^3 de etanol).

Portanto, com base nos cenários alternativos simulados e na discussão apresentada no presente estudo, é possível concluir que dado o ambiente econômico atual um aumento

na produção de etanol no Brasil implicaria em redução nos demais países e os excedentes de etanol brasileiro direcionados ao mercado internacional só teriam um maior efeito sobre o mercado dos EUA, redução de produção e aumento de demanda, quando da implementação das políticas comerciais. Do mesmo modo, quando o aumento de demanda no mercado brasileiro ocorre sem mudança nas barreiras tarifárias, todos os países têm ganhos de produção e uma redução de demanda, sendo a maior parcela da demanda no Brasil atendida por aumento de produção interna e dos EUA que tem importante redução de demanda. Após a mudança tarifária, a produção no Brasil tem um aumento ainda mais significativo, com importante diminuição da parcela de demanda sendo suprida pelos EUA, visto a significativa redução da quantidade produzida após a mudança nas barreiras comerciais, impactando um aumento de produção e redução de demanda com menor magnitude para os EUA. Logo a remoção da barreira tarifária dos EUA seria um importante instrumento para que o etanol brasileiro volte a ter maior acesso a esse mercado e contenha o avanço do produto dos EUA que tem sido ligado a questões de aumentos de preços dos alimentos, além do produto brasileiro trazer externalidades positivas superiores ao americano em relação ao meio ambiente.

Embora parte da política comercial testada no presente estudo já tenha sido aprovada, caso da tarifa de importação do etanol pelo Brasil, a remoção de barreiras por parte dos EUA ainda é tema apenas em discussão. Mesmo os resultados deste estudo indicando para benefícios ao mercado brasileiro em caso de verificação das projeções, dado à implementação das políticas comerciais, ainda assim os EUA permanecem com maior representatividade nesse setor. Assim, torna-se necessário que o governo brasileiro tome medidas e desenvolva políticas públicas de apoio à produção e comercialização, visando gerar benefícios para o setor de etanol, sendo que a imposição da barreira tarifária parece ser um primeiro passo nesse longo caminho que o país tem a percorrer a fim de criar uma estratégia para conseguir obter resultados positivos no setor e cada vez mais se tornar referência mundial na produção e exportação de etanol.

Por fim, o presente estudo procurou contribuir em ser um primeiro alicerce para a construção de políticas públicas que foquem não só em questões ambientais, mas também em políticas de apoio à produção e comercialização do etanol brasileiro, além de fornecer subsídios empíricos a respeito das mudanças na política comercial discutida atualmente, frente as projeções dos compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Cabe ainda salientar que o baixo número de informações estatísticas e acompanhamento do setor em países que ainda estão iniciando

a sua trajetória, na produção e consumo, acaba limitando a análise, porém com base nos dados disponíveis buscou-se chegar a uma aproximação mais fidedigna possível do mercado internacional de etanol.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. R. D.; DA COSTA, G. N. The impacts of the Food-Feed-Fuel competition on Brazilian food supply. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 15, n. 2, 2017.

ALVIM, A. M. As consequências dos acordos de livre comércio sobre o setor de lácteos no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 2, p. 405-428, 2010.

ALVIM, A. M. **Os Impactos dos Novos Acordos de Livre Comércio sobre o Mercado de Arroz no Brasil**: um modelo de alocação espacial e temporal. Porto Alegre: PPGE/ UFRGS, 2003. (Tese de Doutorado em Economia).

ALVIM, A. M.; WAQUIL, P. D. O problema de complementaridade mista: um modelo de alocação espacial aplicado ao setor agrícola. In: SANTOS, M. L. e VIEIRA, W. C. **Métodos quantitativos em economia**. Viçosa: UFV, 2004. Cap.6, p.161-190

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em junho de 2017.

BACHA, C. J. C. The impacts of agriculture-based energy sources on land use in Brazil. In: 49th European Regional Science Association Meeting, ERSA 2009, Lodz, Poland August.

BISHOP, P. M.; NICHOLSON, C. F.; PRATT, J. E. **Tariff-Rate Quotas**: difficult to model or plain simple. (Wellington: NZIER, 2001. Paper presented at the annual conference of the New Zealand Agricultural and Resource Economics Society). Disponível em: <http://www.nzier.co.nz>. Acesso em junho de 2016.

CHAGAS, A. L. S.; TONETO-JÚNIOR, R.; AZZONI, C. R. Teremos que trocar energia por comida? Análise do impacto da expansão da produção de cana-de-açúcar sobre o preço da terra e dos alimentos. **Revista EconomiA**, dez. 2008.

CHAKRAVORTY, U.; HUBERT, M. H.; MOREAUX, M.; NOSTBAKKEN, L. "Will Biofuel Mandates Raise Food Prices?" Working Paper No. 2011–01, University of Alberta, 2010.

CHIANG, A. C.; WAINWRIGHT, K. **Fundamental Methods for Mathematical Economics**. Boston, MA: MacGraw-Hill/Irwin, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 2005/06 a 2014/15 de cana-de-açúcar. Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 3 de março de 2016.

COP21 - Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática, Paris, 2015. Disponível em: < https://nacoesunidas.org/cop21/>. Acesso em janeiro de 2018.

ELOBEID, A.; TOKGOZ, S. Removing distortions in the US ethanol market: What does it imply for the United States and Brazil?. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 90, n. 4, p. 918-932, 2008.

EPURE. European Renewable Ethanol. **Enabling Innovation and Sustainable Development**, State of the industry 2015. Disponível em: <www.epure.org>. Acesso em janeiro de 2018.

FEIJÓ, F. T.; ALVIM, A. M. Impactos econômicos para o Brasil de um choque tecnológico na produção de etanol. **Economia**, Brasília. v. 11, n.3, p. 691-710, 2010.

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

FERRIS, M. C.; MUNSON, T. S. **GAMS: the solvers manuals**. GAMS Development Corporation, 2005.

GALDOS, M.; CAVALETT, O.; SEABRA, J.E.A.; NOGUEIRA, L.A.H.; BONOMI, A. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions. **Applied Energy**, Londres, v. 104, n. 1, p. 576-582, 2013.

GALLAGHER, P. W.; SHAPOURI, H.; PRICE, J.; SCHAMEL, G.; BRUBAKER, H. Some long-run effects of growing markets and renewable fuel standards on additives markets and the US ethanol industry. **Journal of policy modeling**, v. 25, n. 6, p. 585-608, 2003.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; VILLEGAS, J.; PANICHELLI, L. Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances. **Bioresource Technology**, New York, v. 100, p. 4919-4930, 2009.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, v. 315, n. 5813, p. 808-810, 2007.

GURGEL, A. C. Impactos da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 181-213, 2011.

IEA. International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/>. Acesso em junho de 2016.

LUCHANSKY, M. S.; MONKS, J. Supply and demand elasticities in the US ethanol fuel market. **Energy Economics**, v. 31, n. 3, p. 403-410, 2009.

MACEDO, I. C., SEABRA, J. E. A.; SILVA, E. A. R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Londres, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

NICHOLSON, Charles F.; BISHOP, Phillip M. US Dairy Product Trade: Modeling Approaches and the Impact of New Product Formulations. **Final Report for NRI Grant# 2001-35400-10249**, p. 1, 2004.

REIJNDERS, L.; HUIJBREGTS, M. A. J. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 16, n. 4, p. 477-482, 2008.

RENOVABIO. RenovaBio - Biocombustíveis 2030. Disponível em: <http://www.unica.com.br/renovabio/>. Acesso em dezembro de 2017.

RFA. Renewable Fuels Association. Disponível em: < http://ethanolrfa.org/>. Acesso em dezembro de 2017.

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. "World Supply and Demand of Food Commodity Calories," **American Journal of Agricultural Economics** (Proceedings of the Agricultural & Applied Economics Association Sessions at the 2009 ASSA Meeting in San Francisco), December 2009, 91 (5), 1235–1242.

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. Identifying Supply and Demand Elasticities of Agricultural *Commodities*: Implications for the US Ethanol Mandate. **American Economic Review**, 103(6): 2265-95, 2013.

RUTHERFORD, T. F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, 1995.

SAMUELSON, P. A. Spatial price equilibrium and linear programming. **The American Economic Review**, v. 42, n. 3, p. 283-303, 1952.

SANTOS, J. A.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Substituição de combustíveis fósseis por etanol e biodiesel no Brasil e seus impactos econômicos: uma avaliação do Plano Nacional de Energia 2030. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 47, n.3, dez. 2017.

SECEX. Secretaria do Comércio Exterior - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (Base de Dados AliceWeb). Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>. Acesso em agosto de 2017.

SERRA, T.; ZILBERMAN, D.; GIL, J. M.; GOODWIN, B. K. "Nonlinearities in the US Corn-Ethanol-Oil Price System." **Agricultural Economics**, 38(2):259–80, 2011.

TAKAYAMA, T.; JUDGE, G. G. **Spatial and temporal price and allocation models**. Amsterdam: North-Holland, 1971.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). **UNCTAD – Trains** (Trade Analysis and Information System), 2018. Disponível em: <http://www.unctad.org >. Acesso em janeiro de 2018.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em:< http://www.unica.com.br/>. Acesso em janeiro de 2018.

USDA. United States Departament of Agriculture. Ocean Rate Bulletin. 2007. Disponível em: <http://www.ams.usda.gov>. Acesso em dezembro de 2017.

USDOE. United States Department of Energy. Alternative Fuels Data Center. Disponível em: <http://www.afdc.energy.gov/data/search?q=ethanol>. Acesso em agosto de 2017.

WAQUIL, P. D. **Primal-dual spatial equilibrium model with intermediate products**: application to the agricultural sector in the MERCOSUR. University of Wisconsin – Madison, 1995. (Ph.D. Dissertation).

WGER. Weekly Global Ethanol Report, fev. 2015. Disponível em: <https://www.platts.com/IM.Platts.Content/ProductsServices/Products/Biofuels-WeeklyGlobalEthanolReport.pdf>. Acesso em janeiro de 2018.

WORLD BANK. Ileana Cristina Neagu (ineagu@worldbank.org). cópia 24 set. 2002. E-mail para Augusto Mussi Alvim (augusto.alvim@ig.com.br).

ZHANG, Z.; LOHR, L.; ESCALANTE, C. E.; WETZSTEIN, M. E. "Ethanol, Corn and Soybean Price Relations in a Volatile Vehicle-fuels Market". **Energies**, 2:320–39, 2009.

ZILBERMAN, D.; HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; SEXTON, S.; TIMILSINA, G. The impact of biofuels on commodity food prices: Assessment of findings. **American Journal of Agricultural Economics**, p. aas037, 2012.

APÊNDICE C

Tabela 8 - Elasticidades e preços observados para o mercado de etanol

Países	Elasticidade de oferta	Elasticidade de demanda	Preço de Oferta	Preço de Demanda
Estados Unidos	1,98	4,02	448,96	448,96
Brasil	3,56	0,85	500,00	500,00
União Europeia	1,34	5,35	519,49	519,49
China	1,34	5,35	532,00	532,00
Canadá	1,34	5,35	460,98	460,98
Resto do mundo	1,34	5,35	492,29	492,29

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa