

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

Paulo Henrique Hoeckel

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

E-mail: ph.hoeckel@gmail.com

Augusto Mussi Alvim

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

E-mail: augusto.alvim@pucrs.br

RESUMO

Este artigo 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 mais alta pelo Brasil. Após a mudança tarifária, a produção no Brasil tem aumento significativo, com diminuição da parcela da demanda interna suprida pelo mercado externo.

Palavras-Chave: Mercado de etanol; oferta e demanda; comércio internacional.

ABSTRACT

This paper 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 the highest 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; international trade.

Área ANPEC: Área 11 - Economia Agrícola e do Meio Ambiente

Classificação JEL: C63; F13; Q21.

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)¹.

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, pesquisadores² 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

¹ 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).

² Ver Zilberman *et al.* (2012) que apresentam uma revisão mais completa a respeito dos resultados e considerações das pesquisas em questão.

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)³, 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, 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 delinea-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)⁴ 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 tarifas⁵.

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.

³ 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.

⁴ Termo em inglês: *Mixed Complementarity Problem*.

⁵ Os cenários alternativos, assim como as suas fundamentações, são discutidos e apresentados na seção 3.

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)⁶; 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 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 sucroalcooleiro.

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

⁶ Termo em inglês: *Methyl tert - butyl ether*.

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:

$$q_j^d \leq \sum_i^I X_{i,j} \quad \lambda_j \geq 0 \quad [q_j^d - \sum_i^I X_{i,j}] \cdot \lambda_j = 0 \quad (1)$$

$$\sum_j^J X_{i,j} \leq q_i^s \quad \varphi_i \geq 0 \quad [\sum_j^J X_{i,j} - q_i^s] \cdot \varphi_i = 0 \quad (2)$$

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

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\$/m³) de 2015 em virtude da limitação e incompatibilidade de 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 fontes⁷. 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 (<i>e</i>) de Oferta e de Demanda	Estimadas para o período de 1981 a 2016, por Hoeckel (2018), 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 ⁸ .
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

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

⁷ Os valores para os preços e elasticidades utilizados para implementação do modelo podem ser observados na Tabela 8 do Apêndice, sendo as elasticidades oriundas das estimações realizadas por Hoeckel (2018).

⁸ 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 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)⁹. 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-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.

⁹ 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.

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*¹⁰, 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 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.

¹⁰ Ver Ferris e Munson (2005).

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 (m³) 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)

Países	Produção		Consumo		Produção		Consumo	
	Observado				Estimado			
	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	52 581 300,00	53,22
Brasil	28 729 547,00	28,81	26 247 056,25	26,25	26 710 210,00	27,03	26 710 210,00	27,03
UE	5 310 932,76	5,33	5 394 940,37	5,40	5 185 899,00	5,25	6 048 346,26	6,12
China	2 893 316,42	2,90	3 375 488,72	3,38	2 921 958,00	2,96	3 245 877,47	3,29
Canadá	1 743 813,04	1,75	2 723 888,20	2,72	1 708 697,00	1,73	2 953 293,16	2,99
RM	4 968 983,89	4,98	7 227 525,97	7,23	4 943 306,00	5,00	7 268 771,48	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)¹¹ 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 EUA¹².

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.

¹¹ O galão de etanol vendido nos EUA equivale a aproximadamente 3,8 litros.

¹² 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.

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%).

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

Países	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
	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

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.

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

Países	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
	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)

Países	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
	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.

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

Países	A: e (variações %)				B: $e + 50\%$ (variações %)				C: $e - 50$ (variações %)			
	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

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.

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)¹³. A seguir, na Tabela 7, é apresentado um quadro resumo dos melhores cenários alternativos para cada país/região.

Tabela 7 – Melhores cenários alternativos

Países	Oferta	Demanda	Po	Pd
	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 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.

¹³ 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.

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, ERSAs 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.
- HOECKEL, P. H. O. **Implicações da oferta e da demanda de etanol**: comportamento de preços, interações com os mercados agrícolas e mudanças no comércio. Tese (Doutorado em Economia do Desenvolvimento) – Escola de Negócios, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 109. 2018.
- 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 Department 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

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

Nota: As elasticidades de oferta e de demanda tem por base as estimações realizadas em Hoeckel (2018).