

Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia

Mariana Rezende e Silva

**Mandatos de Biocombustíveis e Crescimento da Demanda Mundial de
Etanol: Efeitos Sobre a Economia Brasileira**

Juiz de Fora

2017

Mariana Rezende e Silva

**Mandatos de Biocombustíveis e Crescimento da Demanda Mundial de
Etanol: Efeitos Sobre a Economia Brasileira**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Economia Regional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Coorientador: Fernando Salgueiro Perobelli

Juiz de Fora

2017

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E SILVA, MARIANA REZENDE.

Mandatos de Biocombustíveis e Crescimento da Demanda Mundial de Etanol: Efeitos Sobre a Economia Brasileira / Mariana Rezende e Silva. – 2017.

85 f. : il.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Coorientador: Fernando Salgueiro Perobelli

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2017.

1. Biocombustíveis. 2. Etanol. 3. Mandatos de Biocombustíveis. 4. Equilíbrio Geral Computável (EGC). 5. GTAP. I. Faria, Weslem Rodrigues. II. Perobelli, Fernando Salgueiro. III. Título.

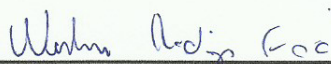
Mariana Rezende e Silva

Mandatos de Biocombustíveis e Crescimento da Demanda Mundial de Etanol: Efeitos Sobre a Economia Brasileira

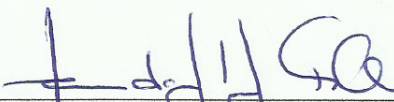
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Economia Regional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Aprovada em: 18/12/2017

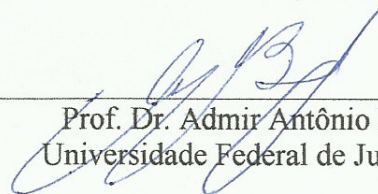
BANCA EXAMINADORA



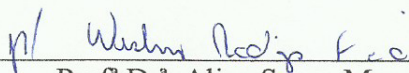
Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Admir Antônio Betarelli
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Aline Souza Magalhães
Universidade Federal de Minas Gerais

Dedico este trabalho a minha família.

Meus pais, Paulo e Maria do Carmo, e ao meu irmão, Matheus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Programa de Pós-Graduação em Economia da UFJF (PPGE-UFJF) pela excelente estrutura e pelo profissionalismo oferecidos durante o curso, contribuindo diretamente para a minha formação. Ao Laboratório de Análises Territoriais e Espaciais (LATES) do PPGE/UFJF que possibilitou a troca de experiências e obter conhecimento a partir da interação com pesquisadores de excelência na área de Economia Regional, como os Professores Doutores Weslem Rodrigues Faria, Fernando Salgueiro Perobelli e Admir Antônio Betarelli Junior, que tiveram contribuições importantes para a conclusão desse trabalho.

Agradeço em especial ao meu orientador, Weslem Rodrigues Faria, e ao meu coorientador, Fernando Salgueiro Perobelli, pela orientação, ao incentivo na busca por novos conhecimentos, apresentando novas oportunidades e estando sempre presentes, sendo solícitos, dedicados e atenciosos, servindo de inspiração profissional.

Agradeço também a UFJF pelo apoio financeiro durante o mestrado.

Aos amigos de PPGE, Jéssica Facioli e Izak Carlos pela amizade, pelas boas conversas e horas de estudo que contribuíram para a superação das dificuldades que surgiram ao longo do caminho.

Gostaria também de agradecer ao meu namorado Christian pelo apoio, companheirismo, carinho e por me incentivar a atingir meus objetivos.

Por fim, gostaria de agradecer também à minha família, em especial aos meus pais, ao meu irmão, à minha madrinha, Lizete, e ao meu tio, Geraldo, pelo incentivo, apoio financeiro e psicológico, proporcionando tranquilidade para que essa jornada chegasse ao fim e que fosse possível dar mais um passo em direção ao meu objetivo profissional.

”A economia é a arte de eleger prioridades. A sabedoria está, não em saber poupar, mas em saber escolher.”
(Edmund Burke)

RESUMO

O agravamento dos efeitos do aquecimento global, a volatilidade do preço do petróleo e a preocupação com a segurança energética são questões que contribuem para o aumento dos incentivos para a produção de biocombustíveis e o desenvolvimento de políticas relacionadas. A partir dos anos 2000 regiões como dos Estados Unidos e União Europeia lançaram os mandatos de biocombustíveis, políticas que estabelecem metas de consumo e produção de combustíveis renováveis até o ano de 2020. O crescimento da demanda interna não é acompanhado de um crescimento na oferta interna, precisando assim, importar etanol ou biodiesel. É nesse cenário que surge o Brasil como possível provedor de etanol para essas regiões por conta da disponibilidade de terras para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, a alta produtividade dessa *commodity* e o conhecimento da tecnologia de produção. O principal objetivo dessa dissertação é analisar o papel do Brasil no mercado mundial de biocombustíveis e identificar as implicações causadas pelas políticas de combustíveis renováveis de regiões como Estados Unidos e União Europeia. Para esse fim, foi construído um modelo de Equilíbrio Geral Computável a partir do *Global Trade Analysis Project* (GTAP), denominado GTAP-BIOBR. Nesse modelo estão desagregados os setores de biocombustíveis o que favorece a análise do comércio de etanol da cana, que tem como principal produtor o Brasil. A estratégia de análise empregada foi de simular três cenários com choques nas exportações brasileiras de etanol para os Estados Unidos e União Europeia no ano de 2020. Os resultados revelam que a produção de etanol no Brasil crescerá em todas as situações, acompanhado do crescimento do nível de atividade econômica. Por outro lado, o preço do etanol da cana sofrerá uma queda e ocorrerá perda de bem-estar econômico no país em consequência da piora dos termos de troca.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Etanol. Mandatos de Biocombustíveis. Equilíbrio Geral Computável (EGC). GTAP.

ABSTRACT

The worsening effects of global warming, the volatility of oil prices and the concern about energy security are issues that contribute to increasing incentives for the production of biofuels and the development of related policies. Since the 2000's, regions such as the United States and the European Union have launched the biofuel mandates, policies that set targets for consumption and production of renewable fuels by the year 2020. The growth of domestic demand is not accompanied by a growth in domestic supply, thus needing to import ethanol or biodiesel. It is in this scenario that Brazil emerges as a possible supplier of ethanol to these regions because of the availability of land for the expansion of sugar cane cultivation the high productivity of this commodity and the knowledge of production technology. The main objective of this dissertation is to analyze the role of Brazil in the world biofuels market and to identify the implications caused by the renewable fuel policies of regions such as the United States and the European Union. For this purpose, a Computable General Equilibrium model was constructed from the Global Trade Analysis Project (GTAP) called GTAP-BIOBR. In this model, the biofuels sectors are disaggregated, which favors the analysis of the sugarcane ethanol trade, whose main producer is Brazil. The analysis strategy employed was to simulate three scenarios with shocks in Brazilian ethanol exports to the United States and the European Union in the year 2020. The results show that ethanol production in Brazil would increase in all situations, accompanied by the growth of the level of economic activity. On the other hand, the price of sugarcane ethanol would suffer a fall and there would be a loss of economic welfare in the country as a result of the worsening terms of trade.

Key-words: Biofuels. Ethanol. Biofuels Mandates. Computable General Equilibrium (CGE). GTAP.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os 10 maiores produtores de biocombustíveis em 2012*	15
Tabela 2 – Os maiores produtores de etanol em 2012*	16
Tabela 3 – Os maiores produtores de biodiesel em 2012*	16
Tabela 4 – Estudos Empíricos sobre os Biocombustíveis	30
Tabela 5 – Estrutura de Formação de Preços	36
Tabela 6 – Produção mundial de etanol em 2011*	42
Tabela 7 – Consumo doméstico do Biocombustível-2 no Brasil - US\$ milhões . . .	43
Tabela 8 – Exportações brasileiras de Biocombustível-2 no GTAP-BIOBR - US\$ milhões	45
Tabela 9 – Custos de produção biocombustível-1 e biocombustível-2	46
Tabela 10 – Produção mista de biocombustíveis nos EUA até 2022, em bilhões de galões	49
Tabela 11 – Produção de Etanol na União Europeia (2011-2020), milhões de litros .	50
Tabela 12 – Estrutura de Consumo de Etanol nos Estados Unidos	50
Tabela 13 – Estrutura de Consumo de Etanol na União Europeia	51
Tabela 14 – Consumo e Produção de Etanol nos EUA e UE em 2020	51
Tabela 15 – Variação % do PIB	56
Tabela 16 – Variação % do Valor do PIB	57
Tabela 17 – Variação % do IPC e Renda no Brasil	57
Tabela 18 – Variação % da Produção do Biocombustível-2	58
Tabela 19 – Variação % da Produção em Cada Setor no Brasil	59
Tabela 20 – Utilização dos Fatores Primários de Produção no Setor de Biocombustível-2 no Brasil - Variação %	60
Tabela 21 – Variação do Bem-Estar Econômico - US\$ milhões	61
Tabela 22 – Decomposição do Bem-Estar Econômico - US\$ milhões ¹	63
Tabela 23 – Fonte de Ganho Tecnológico no Brasil - US\$ milhões	64
Tabela 24 – Efeito Alcativo no Brasil - US\$ milhões	65
Tabela 25 – Termos de Troca no Brasil - US\$ milhões	66
Tabela 26 – Variação na Balança Comercial Brasileira - US\$ milhões	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O SETOR DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E NO MUNDO	14
2.1	Os biocombustíveis no mundo	14
2.2	Os biocombustíveis no Brasil	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1	Modelos EGC de energia para o Brasil	27
4	BASE DE DADOS E METODOLOGIA	34
4.1	<i>O Global Trade Analysis Project (GTAP)</i>	34
4.1.1	Estrutura teórica do modelo	34
4.1.2	As relações de vendas	35
4.1.3	As relações de compra	36
4.1.4	A Árvore Tecnológica	37
4.1.5	Demanda Final	39
4.1.6	Fechamento (<i>Closure</i>)	39
4.2	Variação Equivalente (EV)	39
4.3	O Modelo GTAP-BIOBR	40
4.3.1	1ª Etapa: Agregação regional e setorial	41
4.3.2	2ª Etapa: Produção e comércio de biocombustíveis em 2011	41
4.3.3	3ª Etapa: Setores para divisão	45
4.3.4	4ª etapa: Utilizando o <i>SplitCom</i>	47
4.3.4.1	<i>Criação do biocombustível-1</i>	47
4.3.4.2	<i>Criação do biocombustível-2</i>	47
4.4	Estratégia de análise	48
4.5	Cenários	52
4.6	Mecanismo de Propagação do Choque	53
5	Resultados	56
5.1	Impactos no bem-estar econômico e sua decomposição	60
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	72

APÊNDICE A – VARIÁVEIS DO FECHAMENTO DO MO- DELO	77
APÊNDICE B – REGIÕES NO GTAP-BIOBR	78
APÊNDICE C – SETORES NO GTAP-BIOBR	82
APÊNDICE D – FATORES DE PRODUÇÃO NO GTAP-BIOBR	85

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 70, questões ambientais são pautas cada vez mais frequentes nas agendas de governos e discussões da sociedade. Efeitos como alterações no clima, diminuição da diversidade animal e vegetal e desastres naturais que ocorrem com maior frequência são alguns dos efeitos do aquecimento global e relacionados às ações humanas que acontecem ao analisar o mundo atual. O agravamento dessas questões é causado, em grande parte, por conta do uso de combustíveis fósseis. Esses combustíveis são a principal fonte de energia utilizada, constituindo 80% da energia primária consumida no mundo e mais de 57% daquela utilizada no setor de transportes, em que é representada pelo petróleo, carvão mineral e gás natural. Os combustíveis fósseis enfrentam uma crise devido ao aumento da demanda e a volatilidade do preço do petróleo, assim como ao prejuízo que causam ao meio ambiente (POMPELLI et al., 2011). Além do mais, esses combustíveis são recursos escassos na natureza e suas jazidas se localizam em regiões politicamente conturbadas, provocando instabilidade nos seus preços (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

Diante desse cenário, os governos vão em busca de alternativas para os combustíveis não renováveis, ou seja, fontes de energias mais limpas. Além disso, existe a preocupação com a segurança energética, isto é, a busca pela proteção contra choques nos preços do petróleo. É nesse contexto que aumentam os incentivos para a produção de biocombustíveis, que são derivados da biomassa renovável, podendo substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores de combustão ou em outro tipo de geração de energia (ANP, 2017). Os biocombustíveis são produzidos com matérias-primas de origem agrícola, tais como, cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa de florestas e outras fontes de matéria orgânica (NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007). Os mais tradicionais são o etanol e o biodiesel. O primeiro é produzido da cana-de-açúcar, milho, trigo ou beterraba. Já o biodiesel é obtido a partir de sementes de plantas oleaginosas como a soja, mamona e girassol.

Apesar da produção de biocombustíveis ter começado na década de 1970, com a primeira crise do petróleo, ela só ganhou força mesmo na segunda metade dos anos 2000. A produção mundial de etanol, em 2009, era cinco vezes maior do que a registrada no início da década com 66,6 milhões de toneladas e a produção de biodiesel foi de 13,5 milhões de toneladas (HUANG et al., 2012). Essa produção de biocombustíveis se concentra, principalmente, em três regiões: Estados Unidos, Brasil e União Europeia. Segundo Rosegrant et al. (2008), Brasil e Estados Unidos concentravam, em 2005, 90% da produção de etanol mundial. Já a produção de biodiesel está concentrada em países da União Europeia, como Alemanha e França, que representam 79% da produção.

A volatilidade do preço do petróleo juntamente com a preocupação com a emissão de

gases na atmosfera e a segurança energética impulsionaram a produção de biocombustíveis e o desenvolvimento de políticas relacionadas. Sendo assim, países como Japão, Coreia do Sul, Brasil, Argentina, Estados Unidos (EUA), China, Índia e União Europeia (UE) possuem políticas de incentivo ao uso de biocombustíveis (LABORDE; VALIN, 2011). Tais políticas são chamadas de mandatos de biocombustíveis, que estipulam metas de produção e consumo desses combustíveis, além de metas de emissões de gases de efeito estufa. Além das metas individuais, em 2015, quase duzentos países aprovaram o Acordo de Paris, um marco internacional que busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera em quantidade suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2°C, além de redobrar os esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C (MILANEZ et al., 2017). Esse aumento da demanda por biocombustíveis, principalmente de regiões como EUA e UE, impacta o padrão global de produção agrícola e uso da terra. O crescimento da demanda interna não é acompanhada de um crescimento na oferta interna, precisando assim, importar etanol ou biodiesel de outros países. É nesse cenário que surge o Brasil como o maior produtor e exportador de etanol proveniente da cana-de-açúcar no mundo.

O Brasil se distingue pelo grau de participação dos recursos renováveis na sua matriz energética, representando quase metade da produção total. De acordo com Wilkinson e Herrera (2010), 44% dos recursos energéticos utilizados no país são renováveis, enquanto que no mundo esse percentual é de apenas 14%. Ademais, a cana-de-açúcar é fonte primária de 15% da energia doméstica ofertada. Segundo o IBGE, em 2016 a cultura de cana-de-açúcar ocupava 11 milhões de hectares dos 216 milhões de hectares plantados no Brasil, ou seja, 5% da área plantada no país. A integração entre a produção de etanol e a indústria permitiu que o país se tornasse pioneiro na produção de motores flexíveis (carros flex). Em 2006, a produção de carros flex já representava 80% da produção brasileira de veículos (ABRAMOVAY, 2008).

O país é o pioneiro na geração em larga escala do etanol, desenvolvendo a tecnologia desde a década de 1970, com o ProÁlcool, (FEIJÓ; ALVIM et al., 2010) o que possibilita conhecer as técnicas de produção e promover estudos para produzir de forma mais eficiente. De acordo com Bastos (2007), o etanol brasileiro é competitivo graças às vantagens da agropecuária brasileira, em termos de clima e disponibilidade de terras, salários baixos, tecnologia de produção e políticas públicas adequadas.

Algumas características da produção e do mercado de etanol da cana colocam o Brasil em vantagem para produzir esse biocombustível, principalmente, frente à competição do etanol do milho, produzido pelos Estados Unidos. Os custos do etanol do milho nos EUA em 2007 variavam entre US\$ 2,01 e US\$ 3,96/galão, enquanto no Brasil, o etanol da cana teria custos totais de US\$ 1,10/galão (BASTOS, 2007). Outra vantagem do etanol da cana é a questão energética, a conversão da planta em energia é alta e a produção não depende de grandes quantidades de insumos agrícolas.

A cultura da cana, que é típica de regiões tropicais, apresenta uma alta produtividade. De forma geral, regiões tropicais tem maior potencial para a produção de biomassa e apresentam rendimentos agrícolas superiores aos países de clima temperado (PEZZO; AMARAL, 2007). Ademais, a cana-de-açúcar tem maior eficiência energética em relação ao milho (HUANG et al., 2012). Essas questões proporcionaram que o Brasil se tornasse o segundo maior produtor e consumidor de etanol do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos.

Nesse sentido, pretende-se com esse trabalho analisar o papel do Brasil no mercado mundial de biocombustíveis. E identificar as implicações causadas pelas políticas de biocombustíveis de regiões como Estados Unidos e União Europeia. A hipótese é a de que um aumento da demanda mundial por biocombustíveis por conta da busca por maior segurança energética, preocupação com a volatilidade dos preços do petróleo e mudanças climáticas (TIMILSINA; SHRESTHA, 2014), impactaria a economia dos principais produtores desses combustíveis, principalmente, o Brasil. Para isso, será estabelecida uma estratégia de análise relacionada aos níveis de produção e consumo definidos pelos mandatos de biocombustíveis nos Estados Unidos e na União Europeia.

Para avaliar essas questões será utilizado o modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC). De acordo com Wing (2004), esses modelos são utilizados para analisar o bem-estar econômico e efeitos de políticas cujos os impactos podem ser transmitidos para diversas regiões. O modelo de EGC a ser aplicado no trabalho é uma modificação da versão 9 do *Global Trade Analysis Project* (GTAP) para inserir o setor de biocombustíveis. Esse modificação foi feita com base no modelo GTAP-BIO (TAHERIPOUR et al., 2007), gerando assim, o GTAP-BIOBR. Esse novo modelo global favorece a análise do comércio de etanol da cana, que tem como principal produtor o Brasil. A desagregação foi pensada para representar os principais produtores e consumidores mundiais de etanol.

A estratégia de análise empregada é de simular três cenários com choques nas exportações brasileiras de etanol para os Estados Unidos e União Europeia, baseados nas diferenças entre a quantidade de etanol demandada e a quantidade de etanol exportada pelo Brasil para essas regiões no ano de 2020. Os resultados mostram que a produção de etanol no Brasil crescerá em todas as situações, acompanhado do crescimento do nível de atividade econômica e da demanda por fatores de produção. Por outro lado, o preço da *commodity* transacionada sofrerá uma queda influenciando a queda da renda das famílias.

Além da introdução, o trabalho apresenta mais três capítulos. No próximo capítulo tem-se um panorama do setor de biocombustíveis no Brasil e no mundo. Logo depois, é apresentada a revisão empírica sobre a literatura dos biocombustíveis. A base de dados, a metodologia e a estratégia de análise utilizadas no trabalho são apresentadas no capítulo 4. No capítulo seguinte são descritos os resultados das simulações no GTAP. E por fim, é apresentada a conclusão do presente trabalho.

2 O SETOR DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E NO MUNDO

Biocombustíveis são derivados da biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados do petróleo e do gás natural. O etanol, obtido da cana-de-açúcar, e o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gordura animal e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis, são os principais biocombustíveis utilizados. O objetivo desse capítulo é apresentar o cenário mundial e brasileiro dos setores de biocombustíveis.

2.1 Os biocombustíveis no mundo

No mundo, principalmente, Estados Unidos e Europa, destacam-se os mandatos de biocombustíveis, tais mandatos ganharam força a partir de 2006, com o fortalecimento desses recursos renováveis.

Os Estados Unidos é o maior produtor mundial de etanol. Seu programa de subsídios para a produção do etanol começou em 1978 com a *Energy Policy Act* em resposta ao aumento dos preços de combustíveis pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), aumentando assim, a preocupação com a segurança energética do país (HUANG et al., 2012). Em 1990, foi implementada a *Air Act* exigindo que a gasolina tivesse uma porcentagem mínima de oxigênio. Ao adicionar o oxigênio, o combustível tem uma queima que emite menos gás carbônico, sendo essa, outra justificativa para os subsídios do etanol, que contém um porcentagem alta de oxigênio.

No ano de 2007 foi estabelecido o *Energy Independence and Security Act*, mandato que exigiu a produção de 36 bilhões de galões de biocombustíveis, sendo 15 bilhões ¹ de etanol do milho até 2022. A motivação para esse mandato e para a expansão da produção de etanol durante todos esses anos foram os altos preços do petróleo, aumento da demanda de etanol como um aditivo no combustível e o subsídio (HERTEL; TYNER; BIRUR, 2010).

Entretanto, a produção de etanol nos Estados Unidos pode ter implicação no mercado de alimentos. O etanol do milho tem como obstáculo para sua consolidação, a segurança alimentar. O milho é o principal componente da ração de aves, bovinos e suínos, além de ser utilizado na alimentação diária da população. Com o aumento da demanda por milho para a produção do biocombustível, o setor de alimentos é pressionado pela elevação do preço da *commodity*, aumentando o custo dos alimentos para a população (NARDY; GURGEL, 2013). Como foi observado em 2007, quando o preço do mercado futuro do milho já era impactado pelo etanol, que passou de US\$ 2,51 por bushel ² em 2006 para US\$ 3,26 em 2008 (BASTOS, 2007). Segundo Condon, Klemick e Wolverton

¹ 1 galão = 3,785 litros

² 1 bushel de milho = 25,401 Kg.

(2015), que reviram diversos estudos entre 2007 e 2014, estimaram que em 2015 o preço do milho aumentaria entre 2 e 3% como consequência de uma expansão de um bilhão de galões nos EUA. Portanto, esse país enfrenta esse *trade-off*.

Por outro lado, tem-se a política de biocombustíveis da União Européia (UE) estabelecida em 2007. De acordo com Hertel, Tyner e Birur (2010), *The European Union Biofuels Directive* (BFD) exigiu que os estados membros estabeleçam uma cota de 10% para os biocombustíveis no mercado de combustíveis líquidos até 2020. Sendo que essa participação fosse de 5,75% em 2010 e de 10% até o fim de 2020 (BANSE et al., 2008). Projeta-se que esse objetivo será atingido com a produção alemã de biodiesel.

Por conta desses acordos e subsídios, os Estados Unidos e países da União Europeia, tais como, Alemanha, França e Espanha estão entre os maiores produtores mundiais de biocombustíveis. Além desses, os 10 maiores produtores incluem Brasil, Argentina, China, Indonésia, Canadá e Tailândia. Apesar desses serem os maiores produtores, a produção dos EUA e Brasil é muito discrepante dos demais países, representando, aproximadamente, 80% dos biocombustíveis produzidos por esse grupo em 2012. Como se pode observar na Tabela 1, a produção de biocombustíveis nos Estados Unidos é mais que o dobro da produção no Brasil, com 921 mil barris por dia ³.

Os dados da Tabela 1 reportam a produção e o consumo de biocombustíveis. Como é possível observar, países como Alemanha, França, China, Canadá e Espanha, apesar de produzirem muito biocombustível, consomem uma quantidade maior. Ou seja, esses países importam biocombustíveis de outras regiões para suprir a demanda interna.

Tabela 1 – Os 10 maiores produtores de biocombustíveis em 2012*

	Produtores	Produção	%	Consumo	%	Diferença entre produção e consumo
1	Estados Unidos	921,3	54,88	900,6	56,95	20,7
2	Brasil	423,4	25,22	327,2	20,69	96,2
3	Alemanha	65,3	3,89	77,2	4,88	-11,9
4	França	58,3	3,47	66,8	4,22	-8,5
5	Argentina	53,4	3,18	21,5	1,36	31,9
6	China	49,4	2,94	59,2	3,74	-9,8
7	Indonésia	34,7	2,07	11,6	0,73	23,1
8	Canadá	31,6	1,88	51,4	3,25	-19,4
9	Tailândia	25,5	1,52	24,7	1,56	0,8
10	Espanha	16,0	0,95	41,2	2,61	-25,2
	Total	1678,9	100	1581,4	100	97,5

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da US Energy Information Administration (EIA), 2017.

*produção em mil barris por dia

³ 1 barril de petróleo = 158,987 litros

³ Os países estão denotados como números de 1 a 16 conforme classificação no Apêndice A.

A Tabela 2 mostra os maiores produtores de etanol em 2012 e o seu consumo. Os dados mostram que Estados Unidos e Brasil geram, aproximadamente, 92% e consomem 89% do etanol produzido por esse grupo de países. Confirmando que esses dois países não só produzem muito etanol, mas também consomem muito. Como mostrado para os biocombustíveis como um todo, China, Canadá e Alemanha, também precisam importar etanol para suprir a demanda doméstica, pois consomem mais do que produzem.

Tabela 2 – Os maiores produtores de etanol em 2012*

	Produtores Etanol	Produção	%	Consumo	%	Diferença entre produção e consumo
1	Estados Unidos	857,3	64,16	836,6	67,01	20,7
2	Brasil	376,7	28,19	280,7	22,48	96
3	China	41,7	3,12	43,2	3,46	-1,5
4	Canadá	29,6	2,22	46,1	3,69	-16,5
5	França	17,4	1,30	14,9	1,19	2,5
6	Alemanha	13,4	1,00	27,0	2,16	-13,6
	Total	1336,1	100	1248,5	100	87,6

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da US Energy Information Administration (EIA), 2017.

*produção e consumo em mil barris por dia

A produção de biodiesel apresenta uma configuração um pouco diferente. A produção mundial é dominada por países europeus, apesar dos Estados Unidos ser o maior produtor. Os Países Baixos é a novidade na lista dos maiores produtores de biocombustíveis, com a sétima maior produção mundial de biodiesel, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Os maiores produtores de biodiesel em 2012*

	Produtores Biodiesel	Produção	%	Consumo	%	Diferença entre produção e consumo
1	Estados Unidos	64,0	18,88	64,0	20,51	0
2	Alemanha	51,9	15,31	50,1	16,05	1,8
3	Argentina	49,1	14,49	17,4	5,58	31,7
4	Brasil	46,7	13,78	46,5	14,9	0,2
5	França	40,8	12,04	51,8	16,60	-11
6	Indonésia	34,2	10,09	11,6	3,72	22,6
7	Países Baixos	16,6	4,90	5,4	1,73	11,2
8	Tailândia	15,5	4,57	16,0	5,13	-0,5
9	Polônia	10,6	3,13	14,9	4,77	-4,3
10	Espanha	9,5	2,80	34,4	11,02	-24,9
	Total	338,9	100	312,1	100	26,8

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da US Energy Information Administration (EIA), 2017.

*produção e consumo em mil barris por dia

É possível perceber que a produção e consumo de biodiesel não são tão concentrados quanto para o etanol. Os países europeus (Alemanha, França, Países Baixos, Polônia e

Espanha) se destacam como grandes produtores e consumidores de biodiesel, entretanto, essa região ainda precisa importar esse biocombustível para suprir sua demanda. Como a Espanha, que gera 9,46 mil barris por dia, mas consome uma quantidade muito maior de 34 mil barris por dia. Já países como Argentina e Indonésia produzem muito, mas consomem pouco biodiesel, o que os tornam regiões exportadoras.

2.2 Os biocombustíveis no Brasil

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP (2017), atualmente, cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia é composta de fontes energéticas não renováveis. O Brasil é o pioneiro na utilização em larga escala de etanol combustível desde o fim da década de 1970, e o maior consumidor e produtor mundial de etanol da cana.

Em dezembro de 2016 foi lançado o RenovaBio, um programa do Ministério de Minas e Energia que tem por objetivo expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseado na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento de mercado (BRASIL, 2016). O texto original foi submetido à consulta pública e o projeto está na fase de formalização de suas diretrizes para que, assim, possa nortear as políticas relacionadas aos biocombustíveis.

Na COP21, ⁴ o Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, com a definição de metas domésticas a serem alcançadas até 2030. As metas são dadas por: redução de 43% das emissões de gases de efeito estufa em relação à 2005; Diminuição a zero do desmatamento legal da Amazônia; Participação de 45% de energias renováveis na matriz energética. Dentre essas metas, foi estabelecida a expansão da bioenergia ⁵ para 18% da matriz energética e participação de 23% de fontes renováveis na geração de energia elétrica em 2030. O programa proposto pretende atingir essa meta com a expansão do etanol e do biodiesel, além de ampliar a comercialização dos novos biocombustíveis (biocombustíveis de 2ª geração) e o direcionamento da energia elétrica oriunda da biomassa. O programa traz questões específicas para cada tipo de biocombustível: biodiesel, biogás e biometano, bioquerosene de aviação, etanol e etanol 2G. Esses objetivos estão formalizados no documento do RenovaBio.

⁴ 21ª Conferência das Partes - Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática. Realizada de 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015, em Paris, França, onde foi aprovado, um acordo universal que definiu medidas para reduzir os efeitos das mudanças climáticas, conhecido como acordo de Paris. O compromisso global busca manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C e empregar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C.

⁵ Bioenergia é qualquer produto derivado de biomassa, seja sólido, líquido ou gasoso, que pode ser aproveitado para geração de energia.

O etanol da cana e do milho e o biodiesel são os biocombustíveis tradicionais. Já o biogás e biometano, bioquerosene e etanol 2G são os biocombustíveis de 2ª geração, que são obtidos a partir de transformações químicas ou termoquímicas de qualquer tipo de biomassa. O biometano é um combustível gasoso oriundo do biogás que é comercializado ao se misturar no gás natural. Por sua vez, o biogás é produzido a partir da decomposição de matéria orgânica encontrada em aterros sanitários ou do esgoto. Esse processo é denominado biodigestão anaeróbica. Esse biocombustível pode ser utilizado também para a geração de energia elétrica. De acordo com o relatório do RenovaBio, em 2015, o potencial de geração de biometano no Brasil era de 50 milhões de m^3 por dia no setor sucroenergético e 15 milhões de m^3 no setor de saneamento. Entretanto, esse potencial é desperdiçado, o que representa 24% da demanda total do país, isto é, equivalente a 115 mil GWh/ano.

O bioquerosene é o biocombustível utilizado na aviação. As metas estabelecidas na COP-21 estabelecem um consumo em torno de 8,3 a 12,4 milhões de toneladas de CO_2eq (CO_2 equivalente) em 2030, representando aproximadamente entre 3750 a 5600 mil toneladas de combustível sustentável na aviação. É um mercado novo, mas com potencial de expansão.

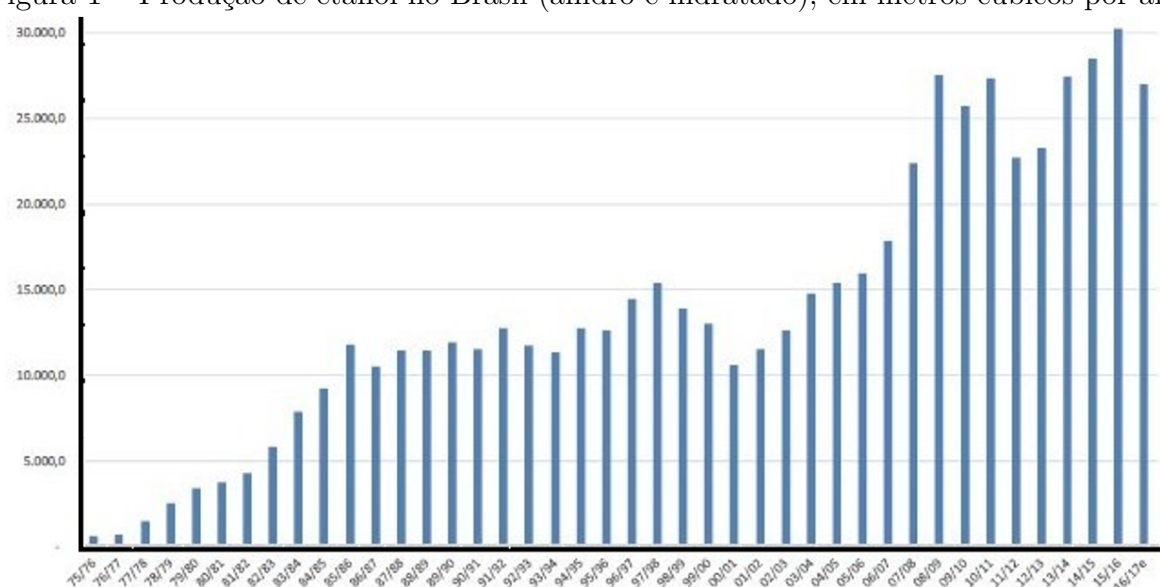
O etanol é um composto químico obtido pela fermentação do açúcar. É um biocombustível utilizado em motores de combustão interna em substituição à gasolina. Existem duas formas de utilização do produto: na forma de etanol anidro, como componente de mistura na gasolina ⁶; ou como etanol hidratado, comercializado como o combustível acabado. Para evitar fraudes e estabelecer o uso de combustíveis de referência, o etanol é regulamentado pelas resoluções ANP n° 19/2015 e ANP n° 23/2010.

O etanol é considerado o biocombustível de maior importância no Brasil. O incentivo à produção do etanol começou na década de 1970 com o ProÁlcool (Programa Nacional do Álcool) por causa da crise do petróleo. O programa foi lançado em 1975 com o objetivo de utilizar na gasolina uma proporção entre 20 e 25% de álcool anidro. Foi criado um mercado regulado para garantir a geração de etanol, envolvendo controle de preços, oferta compulsória nos postos de combustíveis e subsídios. Em 1986, 12 bilhões de litros foram produzidos e carros com tecnologia para utilizar o etanol representavam 90% das vendas (WILKINSON; HERRERA, 2010). Contudo, com a reversão dos preços do petróleo no final da década de 80, levaram o etanol a entrar em crise, pois era mais vantajoso comprar gasolina e produzir açúcar ao invés de etanol. Essa situação se estendeu até o início dos anos 2000, quando ocorreu um aumento do preço do petróleo. Esse cenário proporcionou o desenvolvimento dos carros *flex-fuel*. Estima-se que a frota de veículos flex representava 72,9% da frota de veículos leves no País em 2016 (BRASIL, 2016).

⁶ A proporção de mistura do etanol anidro na gasolina é de 27%. Essa é a gasolina vendida nos postos de combustíveis brasileiros, denominada gasoálcool (ANP, 2017).

A produção desse combustível mais que dobrou na última década, passando de 10 bilhões de litros na safra 2000/2001 para mais de 27 bilhões de litros no ciclo 2010/2011. Na última safra (2016/2017), 53,1% da cana-de-açúcar foi destinada para a produção de etanol e 46,9% para a produção de açúcar. A decisão de produzir açúcar ou etanol é feita pelo produtor ao analisar o preço relativo dos dois produtos (LAMOUNIER et al., 2006). Para o etanol, o objetivo é que seu consumo aumente para 50 bilhões de litros nos próximos 13 anos. Sendo que o consumo atual é de 28 bilhões de litros. A Figura 1 mostra a produção anual de etanol desde a década de 70. O auge da produção ocorreu na safra 2015/16, atingindo 30 bilhões de litros.

Figura 1 – Produção de etanol no Brasil (anidro e hidratado), em metros cúbicos por ano.



Fonte: Ministério de Minas e Energia - RenovaBio

Ao longo das últimas quatro décadas, com a estratégia de expandir a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o Brasil alcançou a posição de segundo maior produtor e consumidor mundial. Em termos relativos, o país possui a maior taxa de substituição de combustível fóssil por renovável no mundo. Sendo capaz de substituir em até 45% a gasolina consumida. Diferentemente dos EUA que possui taxa de substituição de apenas 9,98%, apesar de ser o maior produtor mundial.

A produtividade média agroindustrial do etanol em 1975, quando o produção de etanol começou a ser feita em larga escala, era de 2025 litros de etanol hidratado por hectare. Ao longo dos anos, esse rendimento evoluiu até atingir a marca média de 6831 litros de etanol hidratado equivalente por hectare, em 2010. Essa evolução representa uma taxa de expansão de 3,54% a.a.. Mas por uma combinação de fatores econômicos e climáticos, o rendimento médio da safra de 2016 foi de 5688 litros por hectare, declínio de 3,01% a.a., como mostra a Figura 2.

Além de combustível e de ser autossuficiente em energia, o setor de etanol gera excedente de energia elétrica. Em 2016, o etanol da cana ofereceu quase 24mil GWh para

Figura 2 – Rendimento Agroindustrial Médio no Brasil, em litros de etanol hidratado equivalente por hectare.



Fonte: Ministério de Minas e Energia - RenovaBio

o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa energia foi suficiente para abastecer 12 milhões de residências durante o ano (BRASIL, 2016).

Além do etanol da cana, o Brasil também produz etanol do milho e celulósico, porém em menor escala. A DATAGRO, estima que a produção de etanol do milho será de 205 milhões de litros, dos quais 30 milhões de litros serão de etanol anidro e 175 milhões de litros são de etanol hidratado, na safra 2016/2017. Um volume 45,4% maior que o registrado na safra anterior. Para 2017/2018, estima-se que a produção chegue a 270 milhões de litros de etanol do milho.

O etanol celulósico (etanol 2G), que é o aproveitamento do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, é uma atividade promissora, porém pouco difundida no mundo. Existem apenas seis unidades instaladas em todo o mundo, das quais apenas três estão em funcionamento, sendo duas localizadas no Brasil e a terceira na Itália. A partir disso, o RenovaBio estima que o etanol celulósico aumente a produção de etanol em até 42%.

Já o biodiesel é obtido a partir de um processo em que os triglicerídeos presentes no óleo e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando o éster e a glicerina. O éster é comercializado como biodiesel após passar por processos de purificação para se adequar à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel). Em 2016, 80% da produção de biodiesel advinha do óleo de soja. Existe também um potencial ao desenvolvimento do

biodiesel a partir de palmáceas brasileiras, como a macaúba e o babaçu no Norte do país. A produção de biodiesel a partir dessas fontes pode contribuir para a recuperação das florestas e a manutenção de emprego e renda que evita a continuidade do desmatamento (BRASIL, 2016).

Os primeiros estudos para a criação de uma política para o biodiesel no Brasil iniciaram em 2003. Em 2004, o governo federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com o objetivo de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira e focado na inclusão social e no desenvolvimento regional. Entre 2005 e 2007, a mistura do biodiesel ao diesel fóssil foi de 2%, e com a comercialização voluntária. A obrigatoriedade foi imposta pelo artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em 2008, entrou em vigor a mistura obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi ampliado gradativamente pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) até o atual percentual, em 2017, de 7%. Porém, a Lei nº 13.263/2016 determinou um cronograma de aumento do teor de biodiesel a partir de 2017 até chegar ao teor de 10% em 2019.

A proposta para o biodiesel é de aumento da mistura compulsória para 20% em 2030. Para isso, segundo os documentos do RenovaBio, a produção desse combustível deve alcançar 18 bilhões de litros em 2030, com uma participação de 3,31% na matriz energética. A produção em 2016 foi de 3,8 e 30,1 bilhões de litros no Brasil e no mundo, respectivamente. Estima-se que a produção em 2017 atinja 4,5 bilhões de litros no Brasil. No entanto, a capacidade de produção estimada pela ANP é de 7,3 bilhões de litros por ano.

Certas características da produção e do mercado de etanol da cana colocam o Brasil em vantagem para produzir esse biocombustível, principalmente frente à competição do etanol do milho, produzido pelos Estados Unidos. O país é o pioneiro na geração em larga escala do etanol, desenvolvendo a tecnologia desde a década de 1970, o que possibilita conhecer as técnicas de produção e promover estudos para produzir de forma mais eficiente.

Além disso, o cultivo da cana-de-açúcar ocupa uma pequena área de terra arável e apenas metade é dedicada ao etanol. A produção de etanol representa apenas 1% do total da terra disponível para cultivo e 5% das terras de colheita (WILKINSON; HERRERA, 2010), representando uma alta produtividade da cana, que é um produto tropical, para a produção do etanol. De forma geral, regiões tropicais tem maior potencial para a produção de biomassa e apresentam rendimentos agrícolas superiores aos países de clima temperado (PEZZO; AMARAL, 2007). Segundo a União da Indústria de cana-de-açúcar (UNICA) a expansão da produção de cana-de-açúcar é acompanhada da expansão do cultivo de alimentos e gado, transformando o Brasil em um exportador de diferentes componentes do complexo de proteína animal. Por esse ponto, a cana-de-açúcar não é responsável pelo

aumento no preço global dos alimentos.

Outra vantagem do etanol da cana sobre o etanol do milho é a questão energética. O etanol do milho possui um balanço energético menor se comparado ao álcool da cana-de-açúcar, isto é, a conversão do milho em energia é menor relativamente à cana, além da produção ser dependente de grandes quantidades de insumos agrícolas. De acordo com Pezzo e Amaral (2007), em 2004, para cada unidade de energia fóssil investida, é produzida entre 1,25 e 1,66 unidade de energia renovável no caso do milho, enquanto que no caso do etanol da cana resultam entre 8,3 e 10,2 unidades.

A cadeia de produção de biocombustíveis no Brasil gera 1 milhão de empregos diretos e outros 2 milhões de empregos indiretos. Mais de 1600 municípios estão envolvidos em alguma etapa do processo produtivo. Além do mais, a produção de biocombustíveis está vinculada a uma cadeia produtiva integrada por mais de 60 mil produtores independentes de cana-de-açúcar, milhares de pequenas e médias empresas fornecedoras de equipamentos e materiais e de serviços. A produção de biocombustíveis, em 2011, representava 5% do PIB (BRASIL, 2016).

Essas características inerentes ao Brasil, e.g. terras disponíveis para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, a alta produtividade dessa *commodity* que é possível somente em países tropicais e o conhecimento da tecnologia de produção de etanol, colocam o país como potencial fornecedor líquido de biocombustíveis para o mundo. Além disso, em outros países a expansão da produção de etanol é mais difícil. Nos Estados Unidos para expandir a geração de etanol seria preciso destinar maior quantidade de milho para a produção de biocombustível em detrimento da destinação dessa *commodity* para alimentos. Portanto, nessa região existe o *trade-off* entre a utilização do milho para alimento ou biocombustível, dificultando a expansão da produção de etanol.

Nesse capítulo foram apresentadas as características dos biocombustíveis e de seus mercados no Brasil e nos demais países. No capítulo a seguir são mostrados os trabalhos empíricos existentes na literatura sobre esses combustíveis, mais precisamente, sobre o impacto dos mandatos de biocombustíveis na produção, uso da terra e emissões nas economias mundiais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Diversos estudos empíricos foram realizados com a finalidade de avaliar os impactos que os biocombustíveis e suas políticas têm sobre o mercado das mais variadas economias. Nesse capítulo são apresentados alguns trabalhos empíricos que utilizaram tanto o EGC quanto modelos de equilíbrio parcial para obter os impactos causados pela expansão da produção de biocombustíveis no mundo, na União Europeia, no Brasil e Estados Unidos.

Considerando os trabalhos que verificaram a expansão de etanol no Brasil utilizando EGC, destacam-se Feijó, Alvim et al. (2010), Nardy e Gurgel (2013) e Filho e Horridge (2014). De acordo com Feijó, Alvim et al. (2010), o aumento nas exportações brasileiras ocorreria em maior grau num cenário em que existisse um choque tecnológico na produção nacional de etanol, mas sem barreiras tarifárias.

A análise do impacto sobre o uso indireto de terra entre 2006 e 2020 dessa expansão foi feita pelos autores Filho e Horridge (2014). Nardy e Gurgel (2013) fizeram uma projeção para 2014 e Sa, Palmer e Falco (2013) pelo modo econométrico, utilizaram dados entre 1970 a 2006. Segundo os autores, as áreas cultiváveis deveriam ser ampliadas para acomodar o aumento da produção do etanol, em detrimento do encolhimento de áreas de pastagem e floresta. Além disso, o aumento da produção de etanol em São Paulo contribuiria para o desmatamento na Amazônia. Ainda segundo Nardy e Gurgel (2013) a eliminação de tarifas norte-americanas de importação sobre o etanol brasileiro implicaria em um maior grau de produção de álcool da cana-de-açúcar.

Existem estudos que buscaram investigar os impactos dos biocombustíveis somente para os Estados Unidos, com foco no uso da terra e nas emissões de gases de efeito estufa. Os resultados de Oladosu (2010), Tyner et al. (2010), Oladosu (2012), Golub et al. (2014) e Gohin (2014) foram obtidos pelo emprego de modelos de equilíbrio geral computável. Por outro lado, Lark, Salmon e Gibbs (2015) adotaram um modelo de análise espacial, e concluíram que a cultura do milho seria a que mais expandiria com as políticas de biocombustíveis. Existiria uma expansão das terras cultiváveis em todos os cenários considerados.

De acordo com Tyner et al. (2010) e Gohin (2014), o uso de etanol do milho reduziria as emissões de carbono em relação ao uso da gasolina. O total de energia consumida nos Estados Unidos diminuiria, pois o mandato de biocombustível induziria a uma redução do consumo de combustíveis fósseis. Além disso, foi observado que o preço desses combustíveis fósseis sofreriam uma redução, enquanto que o preço dos biocombustíveis sofreriam um incremento (OLADOSU, 2012). Já Golub et al. (2014) indicaram que sem o mandato de biocombustíveis, a produção de etanol não atingiria os 15 bilhões de galões até 2015 nos EUA.

Diversos estudos analisaram o impacto dos biocombustíveis tanto no Brasil quanto

nos EUA de forma conjunta, tais como, Gurgel (2011), que analisou os impactos ambientais da expansão da produção de etanol nos dois países. Além deste, pela ótica do equilíbrio parcial, Nuñez, Önal e Khanna (2013) por meio de um modelo que analisa apenas os setores de agricultura e combustíveis dessas regiões e Carriquiry et al. (2016) pelo modelo CARD/FAPRI investigaram o impacto das mudanças das políticas de biocombustíveis sobre a produção e o meio ambiente.

De acordo com Gurgel (2011), a expansão do etanol seria às custas de outras culturas, convertendo áreas florestais em agrícolas nos EUA. No Brasil, o crescimento dos biocombustíveis até 2020 não causaria grandes impactos na região amazônica. Além disso, com o aumento da produção proporcionada pelas políticas de biocombustíveis, as exportações brasileiras de etanol também seriam ampliadas (NUÑEZ; ÖNAL; KHANNA, 2013). Essa reação seria em consequência do aumento da demanda dos EUA por milho, fazendo com que o preço dessa *commodity* aumentasse (CARRIQUIRY et al., 2016).

Além de Brasil e Estados Unidos, a União Europeia também foi objeto de outros estudos sobre os biocombustíveis. Os impactos da política de combustíveis sobre a produção de alimentos e uso da terra foram investigados por Banse, Sorda et al. (2009), Sorda et al. (2009) e Pena-Levano et al. (2016). Já Kavallari, Smeets e Tabeau (2014) analisaram as consequências apenas no uso da terra. Por fim, Rasetti et al. (2015) observaram os impactos na economia e na produção agrícola de um aumento da produção de biocombustíveis na União Europeia.

Banse, Sorda et al. (2009) e Sorda et al. (2009) estudaram o impacto das políticas de biocombustíveis para a Alemanha e UE. Os autores concluíram que o crescimento da produção agrícola por conta da expansão da demanda por biodiesel, aumentaria o preço da terra nessas regiões. Entretanto, essa expansão da produção não seria suficiente para suprir a demanda, o que geraria *déficits* comerciais agrícolas. De acordo com Kavallari, Smeets e Tabeau (2014), a produção de beterraba cresceria somente 4%, resultado da baixa adesão do etanol no mercado europeu. Além disso, tanto o preço do biodiesel quanto o preço de outros produtos agrícolas teriam um acréscimo devido ao aumento da produção e da demanda. A pressão por uma maior produção de biodiesel faria com que ocorresse uma mudança no uso da terra e que áreas de floresta e pastagem seriam convertidas em áreas cultiváveis (RASETTI et al., 2015).

Impactos mundiais da produção de biocombustíveis também foram estudados por outros autores, isto é, o efeito causado pelas políticas de combustíveis renováveis na economia, no uso da terra e nas emissões de diversos países. As consequências das políticas europeias sobre a economia mundial foram discutida por Banse et al. (2008), Al-Riffai et al. (2010), Britz e Hertel (2011), Laborde e Valin (2011) e Kavallari, Smeets e Tabeau (2014). A questão da produção da biomassa foi apresentada por Gurgel, Reilly e Sergey (2007). Já Birur, Hertel e Tyner (2009) analisaram o *boom* dos biocombustíveis no mercado de

alimentos. A produção de biocombustíveis, uso da terra e emissões foi discutido por Hertel, Tyner e Birur (2010), Bouët et al. (2010), Taheripour et al. (2010), Timilsina e Mevel (2013), Langeveld et al. (2014), Javida e Salari (2016), Hertel e Baldos (2016) e Chakravorty et al. (2016). Huang et al. (2012) tratou a questão da elasticidade de substituição entre etanol e gasolina, enquanto que Timilsina et al. (2012), Yang et al. (2014), Markandya et al. (2016) e Rosegrant et al. (2008) analisaram as questões econômicas da produção de biocombustível.

O mandato de biocombustível na União Europeia implicaria em um maior desmatamento de algumas regiões, como o Brasil. Mas o uso do etanol resultaria em um menor nível de emissão de CO_2 , se a participação desse combustível aumentar até 2020 (AL-RIFFAI et al., 2010). Por outro lado, o aumento da demanda por biodiesel mudaria a utilização da terra em todas as regiões do globo. Esse acréscimo na demanda por biodiesel liberaria o dobro de CO_2 em relação ao etanol, por conta do uso da terra (LABORDE; VALIN, 2011). Esse aumento da produção expandiria a área agricultável (KAVALLARI; SMEETS; TABEAU, 2014), competindo com áreas de pastagem e floresta em países como Brasil e EUA, que seriam os principais exportadores de oleaginosas para a União Europeia (BRITZ; HERTEL, 2011). Ou seja, aumentaria o déficit de biocombustíveis na UE e o *superávit* comercial de países com grande quantidade de terra, tais como, os países das América Central e do Sul (BANSE et al., 2008).

A produção de biomassa no século XXI foi analisada por Gurgel, Reilly e Sergey (2007) considerando dois cenários, com e sem políticas de mitigação da emissão de gases de efeito estufa. Os resultados mostraram que as Américas do Sul e Central teriam maior produtividade na produção de biomassa e seriam capazes de suprir grande parte da produção. A demanda mundial seria suprida por regiões com baixo custo de produção. O crescente consumo dos biocombustíveis no período entre 2006 e 2010 teria impactos no mercado de alimentos. Nos EUA, com a expansão da produção de etanol, ocorreria um acréscimo na produção de milho, entretanto, as exportações cairiam devido ao aumento da demanda interna. Esse aumento nas plantações de milho juntamente com o declínio das plantações de outras culturas, permitiriam uma expansão da produção de etanol (BIRUR; HERTEL; TYNER, 2009).

O uso da terra foi o tema mais analisado quando se pretende identificar os impactos dos biocombustíveis. As áreas de cultivo de milho e cana-de-açúcar aumentariam em detrimento das áreas de pastagem e florestas. Além disso, a exportação brasileira de etanol seria a maior beneficiada com as políticas de biocombustíveis (Bouët et al. (2010); Hertel, Tyner e Birur (2010); Hertel e Baldos (2016)). Ainda de acordo com Taheripour et al. (2010), a indústria alimentícia seria pouco impactada com o aumento da produção de biocombustíveis nos EUA e na UE. A questão das emissões estaria diretamente relacionada com a expansão da área cultivável, de acordo com Javida e Salari (2016), a produção

de biodiesel diminuiria as emissões de gases na atmosfera. Por outro lado, Timilsina e Mevel (2013) afirmaram que as emissões causadas pelo desmatamento para a expansão dos biocombustíveis seriam maiores do que aquelas evitadas pela substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis, até o ano de 2023. No entanto, após esse período, as emissões anuais líquidas diminuiriam apesar da produção de biocombustíveis continuar aumentando.

De acordo com Timilsina et al. (2012) o crescimento da produção no Brasil seria impulsionada, principalmente, por causa da demanda mundial de biocombustíveis, diferentemente de outros países em que esse crescimento aconteceria por conta da demanda doméstica. Com o aumento das exportações, o país poderia experimentar um crescimento no PIB também. Se a produção de biocombustíveis atingir a quantidade exigida pela política, o aumento da demanda pelas matérias-primas impulsionaria tanto a oferta quanto o preço desses produtos. Assim, o preço do milho e do açúcar aumentariam nos EUA e no Brasil, respectivamente. Entretanto, com a expansão das terras cultiváveis, aumentaria a oferta das *commodities* e, conseqüentemente, o preço destas cairia. Com isso, o preço do milho permaneceria inalterado em relação aos níveis de 2006, enquanto que o preço do açúcar no Brasil diminuiria.

Por outro lado, Markandya et al. (2016) argumentaram que a perspectiva seria de que o preço das matérias-primas cairiam, o que resultaria em preços mais baixos dos biocombustíveis. Os mandatos impactariam em menor grau os países da União Europeia em relação aos outros países pesquisados. O impacto dos biocombustíveis no mercado agrícola dependeria dos fatores, assim como dos mandatos governamentais de energias renováveis e preços (YANG et al., 2014). Ou seja, o preço da energia e a elasticidade de substituição entre etanol e gasolina seriam fatores determinantes para o crescimento da produção do biocombustível (HUANG et al., 2012).

Além das análises de equilíbrio geral, as análises mundiais podem ser feitas pelo equilíbrio parcial. Rosegrant et al. (2008) utilizaram como modelo o *International Model for Policy Analysis of Agricultural commodities and Trade* (IMPACT), que foi desenvolvido pelo *International Food Policy Research Institute* (IFPRI) para projetar demanda e oferta globais de alimento e segurança alimentar para o ano de 2020. Os autores construíram três cenários (cenário base, cenário de expansão, cenário com expansão drástica) com diferentes taxas de expansão dos biocombustíveis. No cenário base, os EUA seriam o maior exportador de milho, porém, nas duas outras situações, o país se tornaria importador. Ocorreria também um grande aumento na demanda por açúcar no Brasil nos dois cenários de expansão, por conta disso, as exportações na América Latina e Caribe desse item sofreriam grande redução.

Chakravorty et al. (2016) analisaram os efeitos de longo prazo dos mandatos de biocombustíveis dos EUA e UE. Se as preferências alimentares dos indivíduos permanecerem constantes, o preço dos alimentos cairia ao longo do tempo, em torno de 9%. Com

os mandatos, esses preços teriam um aumento de 7% até 2022. As emissões de carbono continuariam significativas, ou seja, o uso de biocombustíveis não reduziriam significativamente as emissões, um dos principais objetivos dos biocombustíveis. Aumentando o uso dos biocombustíveis, as emissões diretas seriam reduzidas, porém a emissão de gases pela conversão de terras ainda seria alta.

Modelos regionais também foram aplicados para analisar as questões dos biocombustíveis sobre um único país. Foram desenvolvidos análises para Moçambique (ARNDT; BENFICA; THURLOW, 2011), Índia (GUNATILAKE; ROLAND-HOLST; SUGIYARTO, 2014) e México (ELIZONDO; BOYD, 2017).

Para Moçambique, Arndt, Benfica e Thurlow (2011) examinaram as implicações da expansão da produção de biocombustíveis em países com baixa renda e terra abundante. O estudo focou no caso de Moçambique para o período entre 2003 e 2015. O estudo concluiu que a participação do trabalho feminino poderia ajudar a combater a pobreza acentuada entre as famílias que são chefiadas por mulheres, principalmente nas zonas rurais. O aumento da participação das mulheres implicaria em um *trade-off* entre os biocombustíveis e a disponibilidade de alimentos, uma vez que as mulheres são tipicamente responsáveis pela produção dos alimentos. Isso levaria à elevação dos preços dos alimentos.

O impacto na economia da Índia da produção e uso de biocombustíveis foi analisado por Gunatilake, Roland-Holst e Sugiyarto (2014). Foram encontradas evidências de que se os preços de energia mantiverem a tendência de alta nas próximas duas décadas, isso poderia ter efeitos adversos na economia indiana. Ao mesmo tempo, no entanto, o país teria alguma flexibilidade para enfrentar esse desafio. Uma resposta indireta à inflação dos preços da energia seria promover o crescimento da produtividade da produção de alimentos. Isso teria como principal benefício o reforço da segurança alimentar e os meios de subsistência tradicionais em todo o país. Se sustentada, até mesmo modestas melhorias na eficiência energética e na produtividade alimentar, poderiam reverter os choques negativos na renda *per capita* da maioria da população indiana.

Para o caso do México, Elizondo e Boyd (2017) avaliaram o impacto do subsídio na produção de etanol no PIB, produção setorial, consumo e bem estar. A política de subsídios impactaria negativamente o PIB, a produção da pecuária e o consumo de alimentos. Por outro lado, o setor agrícola teria um aumento na produção. Um ponto importante dessa simulação é que o consumo de gasolina também aumentaria, em resposta ao aumento do preço do etanol.

3.1 Modelos EGC de energia para o Brasil

O desenvolvimento de modelos de equilíbrio geral computável para analisar os setores de energia no Brasil ainda são escassos. Nessa seção são apresentados os modelos

desenvolvidos por Santos (2012), Magalhães (2013) e Valladares (2013) que analisam o impacto dos setores de energia sobre a economia brasileira.

Santos (2012) desenvolveu o ENERGY-BR, um modelo Inter-Regional de Equilíbrio Geral Computável (IEGC), derivado do modelo B-MARIA-27 (HADDAD, 2004) para a análise de política energética na economia brasileira. Os fundamentos teóricos derivam da tradição australiana de modelagem EGC do tipo Johansen (1960). Esse modelo evidencia 30 setores produtivos em cada uma das 27 unidades federativas brasileiras no ano de 2004. A desagregação foi feita priorizando as indústrias de energia elétrica. Sendo assim, a principal característica do modelo é dada pela interação entre os setores de energia e os demais setores da economia. Além disso, a base do ENERGY-BR é um sistema de contas nacionais que acomoda os setores de energia compatíveis com o Balanço Energético Nacional (BEN).

O modelo BeGreen (*Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model*) é um modelo de EGC desenvolvido por Magalhães (2013). Ela apresenta três características que o diferenciam dos demais modelos de EGC desenvolvidos para a análise energética brasileira. Apresenta um módulo com a especificação energética detalhada; um módulo ambiental que permite projetar políticas de redução de emissões; e uma estrutura dinâmica recursiva. Assim, o objetivo de Magalhães ao desenvolver o BeGreen foi analisar as questões ambientais e energética para a economia brasileira por meio de um modelo de EGC de dinâmica recursiva. O modelo é calibrado com os dados de 2005 para 124 produtos e 58 setores, além de 14 elementos da demanda final, três fatores primários, dois setores de margens, importações por produtos de cada setor e componente da demanda final, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre produção. No modelo BeGreen a modelagem dos setores intensivos em energia seguiu a abordagem *bottom-up*¹ mas mantendo a interação com outros setores da economia obtida a partir da abordagem *top-down*².

O terceiro modelo é o BRIDGE-ENERGY (*Brazilian Recursive Dynamic General Equilibrium Model - Version for Energy Analysis*, um modelo de EGC de análise de questões energéticas para a economia brasileira desenvolvido por Valladares (2013). Ele apresenta a mesma estrutura teórica do modelo BRIDGE (DOMINGUES et al., 2010), e

¹ A principal característica dos modelos *bottom-up* é a maior sofisticação e detalhamento quanto à questão energética, identificando tecnologias alternativas que podem ser usadas na produção de um dado bem, essa abordagem também é conhecida como "Vetor Tecnológico". Ela possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos, evitando a possibilidade de obtenção de combinação de insumos tecnicamente não factíveis. Dois setores e enquadram nesta categoria: Geração de eletricidade e fabricação de aço e derivados.

² Os modelos *top-down* são usualmente modelos agregados, em que os setores energéticos são modelados por funções de produção aninhadas, a partir da combinação de insumos que podem ser continuamente substituídos uns pelos outros através da mudança dos preços relativos. A maioria dos modelos EGC utiliza essa abordagem (MAGALHÃES, 2013).

adota ainda as especificações teóricas de vetores tecnológicos. Segue não só a abordagem australiana de modelagem em equilíbrio geral ao se inspirar no ORANI (DIXON, 1982), mas também, nos modelos do tipo Johansen (JOHANSEN, 1960). O modelo é calibrado para os dados de 2005 da economia brasileira, para 58 setores produtivos e de bens de investimento, que utilizam três fatores primários locais (capital, trabalho e terra). O consumo das famílias, investimento, exportações e o consumo do governo compõem a demanda final. A estrutura central do BRIDGE-ENERGY é constituída de conjuntos de equações predominantemente não-lineares, organizadas em blocos, que, quando descritas sob a forma linearizada, originam soluções baseadas em taxas de crescimento. Esses blocos de equações comandam as relações de oferta e demanda derivadas de hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado. Além disso, são definidos na estrutura central do modelo, diversos agregados nacionais, tais como, os níveis de emprego agregado, saldos comerciais e índices de preços.

Neste capítulo foi apresentada a literatura empírica sobre os biocombustíveis, tanto com modelos de equilíbrio geral quanto de equilíbrio parcial para diversas regiões do planeta, e também os modelos desenvolvidos para análise dos setores energéticos no Brasil. O presente trabalho também utiliza um modelo de EGC para analisar os impactos dos mandatos de biocombustíveis sobre as economias mundiais. A Tabela 4 resume os trabalhos empíricos sobre os biocombustíveis apresentados na dissertação, com informações como, o método de análise, a origem dos dados, região estudada, resolução temporal, agregação setorial e regional, assim como, os objetivos dos estudos.

Assim, a contribuição do presente estudo na literatura se dá pela construção de um modelo global de EGC que enfatiza o mercado brasileiro de biocombustíveis. Isto é, as informações utilizadas para a construção do setor de etanol da cana-de-açúcar no GTAP tiveram como base a matriz de insumo-produto brasileira. Diferentemente do que foi usado por Gurgel (2011), que apesar de utilizar o GTAP para fazer as simulações, enfatizou o uso da terra nas análises.

Optou-se por um modelo global pela inserção brasileira no mercado mundial ocorrida na última década, e também pelo Brasil ser um *player* no mercado de biocombustíveis. Sendo assim, as políticas ambientais e/ou de biocombustíveis brasileiras podem ser capazes de impactar não somente a economia interna, mas as demais economias mundiais. A construção desse modelo é explicada no capítulo de metodologia.

Tabela 4 – Estudos Empíricos sobre os Biocombustíveis

Literatura	Método	Dados	Região	Resolução Temporal	Agregação Regional	Agregação Setorial	Objetivo/Motivação
Gurgel, Reilly e Sergey (2007)	EPPA	GTAP e US-EPA	Global	Dinâmico	16 regiões	21 setores	Mensurar os impactos da produção de biomassa no século XXI no uso da terra e economia.
Banse et al. (2008)	GTAP	GTAP (versão 6) e GTAP-E	Global	Estático	37 regiões	23 setores	Mensurar os impactos do mandato de biocombustível europeu na produção, uso da terra e comércio.
Birur, Hertel e Tyner (2009)	GTAP-BIO	GTAP (versão 6) e GTAP-E	Global	Estático	87 regiões	57 setores	Mensurar o impacto do boom dos biocombustíveis no mercado de alimentos.
Al-Riffai et al. (2010)	MIRAGE	GTAP (versão 7), GTAP-E e GTAP-AEZ	Global	Dinâmico	11 regiões	43 setores	Mensurar o impacto da política europeia de biocombustíveis na produção agrícola, no comércio e desenvolvimento.
Bouët et al (2010)	MIRAGE	GTAP (versão 7), GTAP-E e GTAP-AEZ	Global	Dinâmico	18 regiões	35 setores	Mensurar os impactos das políticas de biocombustíveis no comércio internacional e no uso da terra.
Feijó, Alvim et al. (2010)	GTAP	GTAP (versão 6)	Global	Estático	5 regiões	5 setores	Mensurar o impacto dos possíveis cenários de expansão tecnológica para os setores produtores de álcool no Brasil e no mundo, com possibilidade também de corte nas barreiras tarifárias.
Hertel, Tyner e Birur (2010)	GTAP-AEZ	GTAP (versão 6) e GTAP-E	Global	Estático	18 regiões	57 setores	Mensurar o impacto dos mandatos de biocombustíveis da UE e EUA sobre o mercado mundial, o uso da terra e emissão de gases de efeito estufa.
Oladosu (2010)	GTAP-ORNL	GTAP (versão 6), GTAP-E e SAGE	Global	Estático	18 regiões	28 setores	Mensurar os impactos das mudanças na produção e uso do etanol provocadas pelo mandato de biocombustíveis dos EUA.
Taheripour et al. (2010)	GTAP-BIO	GTAP-E e GTAP-AEZ	Global	Estático	18 regiões	58 setores	Mensurar os impactos globais da implementação dos mandatos de biocombustíveis nos EUA e UE.
Tyner et al. (2010)	GTAP-BIO-ADV	GTAP-E e GTAP-AEZ	Global	Estático	87 regiões	57 setores	Mensurar os impactos no uso da terra e nas emissões de CO_2 induzidos pela produção de etanol do milho nos EUA.
Britz e Hertel (2011)	GTAP-AEZ	GTAP (versão 6) e CAPRI	Global	Estático	87 regiões	57 setores	Mensurar os impactos do programa de biocombustíveis da UE sobre o uso da terra e emissões de CO_2 .
Gurgel (2011)	GTAP	GTAP (versão 6), GTAP LAND e GTAPinGAMS	Global	Estático	16 regiões	18 setores	Mensurar os possíveis impactos sobre a produção agrícola e o uso da terra em cenários de expansão da produção de etanol no Brasil e nos EUA.

continua

Laborde e Valin (2011)	MIRAGE-BIOF	GTAP (versão 7), MIRAGE	Global	Dinâmico	11 regiões	43 setores	Mensurar as mudanças no uso da terra causadas pela política de biocombustíveis da UE.
Huang et al. (2012)	GTAP	GTAP (versão 7), GTAP-E, GTAP-AEZ e UNCOMTRADE	Global	Estático	14 regiões	20 setores	Mensurar o impacto da expansão dos biocombustíveis nas principais regiões produtoras, EUA, Brasil e UE.
Timilsina et al. (2012)	GTAP	GTAP (versão 6)	Global	Estático	25 regiões	31 setores	Mensurar os impactos de longo prazo no uso da terra, oferta e preço de alimentos e na economia de uma expansão dos biocombustíveis.
Oladosu (2012)	GTAP-DEPS	GTAP (versão 6) e GTAP-E	Global	Dinâmico	18 regiões	33 setores	Mensurar as implicações causadas pelas emissões indiretas do uso de energia com o aumento no uso de biocombustíveis nos EUA.
Nardy e Gurgel (2013)	GTAP	GTAP(versão 6.2), GTAP-BIO GTAP-E	Global	Estático	18 regiões	21 setores	Investigar os possíveis impactos no uso da terra e na emissão de gases causados por uma redução nas tarifas de importação norte-americana sobre o etanol brasileiro.
Timilsina e Mevel (2013)	Modelo EGC do Banco Mundial	GTAP(versão 7)	Global	Dinâmico	25 regiões	28 setores	Investigar os efeitos da expansão dos biocombustíveis na emissão de gases de efeito estufa.
Gohin (2014)	GTAP-BIO e FAPRI	GTAP	Global	Estático	87 regiões	57 setores	Mensurar o impacto na produção dos grãos de uma mudança no uso da terra e das emissões de CO_2 proporcionada pelos biocombustíveis.
Golub et al. (2014)	GDyn-BIO	GTAP (versão 7), GTAP-BIO e GDyn	Global	Dinâmico	19 regiões	36 setores	Analisar a expansão da produção de etanol do milho nos EUA.
Langeveld et al. (2014)	-	-	Global	-	34 regiões	-	Mensurar o impacto no uso da terra de um aumento na produção de biocombustíveis no Brasil, EUA, UE, China, Indonésia, Malásia, África do Sul e Moçambique.
Kavallari, Smeets e Tabeau (2014)	MAGNET	GTAP (versão 8)	Global	Dinâmico	24 regiões	20 setores	Mensurar os efeitos de mudanças no uso da terra na EU e no mundo causados pelo mandato de biocombustível da EU.
Yang et al. (2014)	GTAP-E	GTAP	Global	Estático	87 regiões	57 setores	Mensurar os impactos da produção de biocombustíveis nos mercados regionais agrícolas se área de terras cultivadas for expandida.

Rasetti et al.(2015)	GTAP-BIO	GTAP (versão 6)	Global	Estático	18 regiões	44 setores	Analisar os impactos econômicos e no desenvolvimento de um aumento na produção de biocombustíveis.
Pena-Levano et al. (2016)	GTAP-BIO-FCS	GTAP (versão 7)	Global	Estático	19 regiões	91 setores	Mensurar os impactos no uso da terra e na segurança alimentar de um aumento na produção de biocombustíveis incentivada pela política europeia.
Javida e Salari (2016)	GTAP-BIO	GTAP e GTAP-AEZ	Global	Estático	18 regiões	21 setores	Investigar os impactos na produção de biodiesel de sementes oleaginosas nas emissões de CO_2 e também no rendimento e área colhida dessas sementes.
Markandya et al. (2016)	GTAP-BIO	GTAP	Global	Estático	18 regiões	61 setores	Mensurar o preço das commodities dos biocombustíveis e os retornos de sua produção para Brasil, EUA e EU.
Hertel e Baldos (2016)	GTAP-BIO-AEZ	GTAP, GTAP-BIO e GTAP-AEZ	Global	Estático	18 regiões	57 setores	Estimar as mudanças no uso indireto da terra.
Rosegrant et al. (2008)	IMPACT	IFPRI	Global	-	115 regiões	320 setores	Projetar como o consumo e o preço dos alimentos são impactados pelo crescimento da produção dos biocombustíveis.
Nuñez, Önal e Khanna (2013)	Modelo de Equilíbrio Parcial desagregado espacialmente	USDA, EIA, DENATRAN, OECD-FAO	Global	-	137 mesorregiões	14 setores	Analisar os efeitos dos mandatos de biocombustíveis no uso da terra e nos setores de combustível e agricultura.
Chakravorty et al. (2016)	Modelo de Equilíbrio Parcial Dinâmico	USDA	Global	Dinâmico	5 regiões	3 setores	Mensurar os efeitos de longo prazo dos mandatos de biocombustíveis dos EUA e UE.
Banse e Sorda (2009)	LEITAP	GTAP (versão 6) e GTAP-E	Alemanha	Dinâmico	37 regiões	13 setores	Mensurar o impacto das políticas de biocombustíveis alemã e europeia na produção de alimentos, uso da terra e comércio.
Sorda et al. (2009)	LEITAP	GTAP (versão 6), GTAP-E e GTAP-AEZ	Alemanha	Dinâmico	37 regiões	23 setores	Mensurar o impacto das políticas de biocombustíveis nacional, europeia e global na produção de alimentos e alocação da terra na Alemanha.
Arndt, Benfica e Thurlow (2011)	EGC para Moçambique	MCS de Moçambique e Censo Matriz	Moçambique	Dinâmico	-	56 setores	Mensurar os impactos econômicos da expansão da produção de biocombustíveis.
Filho e Horridge (2014)	Modelo Filho e Horridge (2011)	insumo-produto brasileira 2005	Brasil	Dinâmico	15 regiões	38 setores	Analisar as mudanças no uso indireto da terra causadas pela expansão do etanol no Brasil.

Gunatilake, Roland-Holst e Sugyarto (2014)	TIGER	GTAP (versão 8)	Índia	Dinâmico	-	57 setores	Analisar o impacto da produção e uso de biocombustíveis na economia indiana.
Filho et al. (2015)	TERM-BR	Matriz insumo-produto brasileira 2005	Brasil	Dinâmico	15 regiões	38 setores	Avaliar se é possível suprir a demanda por alimentos e conservar as áreas florestais.
Elizondo e Boyd (2017)	Modelo de EGC para o México	Matriz de contabilidade social de 2010	México	Dinâmico	-	13 setores	Avaliar o impacto do subsídio na produção de etanol no PIB, produção setorial, consumo e bem-estar para o México.
Sá, Palmer e Falco (2013)	Sistema GMM	IBGE, IPEA	Brasil	-	3652 áreas mínimas comparáveis	-	Investigar as mudanças indiretas no uso da terra provocadas pela expansão da cana-de-açúcar no Brasil.
Lark, Salmon e Gibbs (2015)	Modelo desagregado espacialmente para os EUA	USDA, NASS e FSA	Estados Unidos	-	-	-	Investigar a expansão agrícola causada pela políticas de biocombustíveis nos EUA.
Carriquiry et al. (2016)	CARD/FAPRI	IBGE, ABRAF	Brasil	-	6 regiões	15 setores	Mensurar como as políticas de incentivo à produção de biocombustíveis no Brasil e nos EUA afetam o desmatamento na Amazônia brasileira e as emissões de gases de efeito estufa.
Santos (2012)	ENERGY-BR	Balço Energético Brasileiro	Brasil	Dinâmico	27 regiões	30 setores	Avaliar os impactos regionais de longo prazo da política tarifária no setor energético brasileiro.
Magalhães (2013)	BeGreen	Balço Energético e Inventário Brasileiro de Inovação	Brasil	Dinâmico	-	58 setores	Investigar políticas de redução de emissões, como a tributação de carbono, sobre a parcela das emissões relacionadas ao uso de combustíveis e à atividade produtiva.
Valladares (2013)	BRIDGE-ENERGY	BRIDGE	Brasil	Dinâmico	-	58 setores	Avaliar os efeitos econômicos de longo prazo da política energética específica de estímulo à oferta de petróleo e gás natural provenientes do Pré-Sal Brasileiro.
Descrição do Modelo desenvolvido na dissertação							
	GTAP-BIOBR	GTAP (versão 9), Matriz insumo-produto brasileira de 2011, EIA	Global	Estático	16 regiões	21 setores	Identificar os impactos econômicos das políticas de biocombustíveis dos EUA e UE.

4 BASE DE DADOS E METODOLOGIA

No presente capítulo são apresentados o modelo padrão do GTAP, a descrição da modificação feita sobre a estrutura do GTAP para a criação do GTAP-BIOBR utilizado neste trabalho e a estratégia de análise.

4.1 O Global Trade Analysis Project (GTAP)

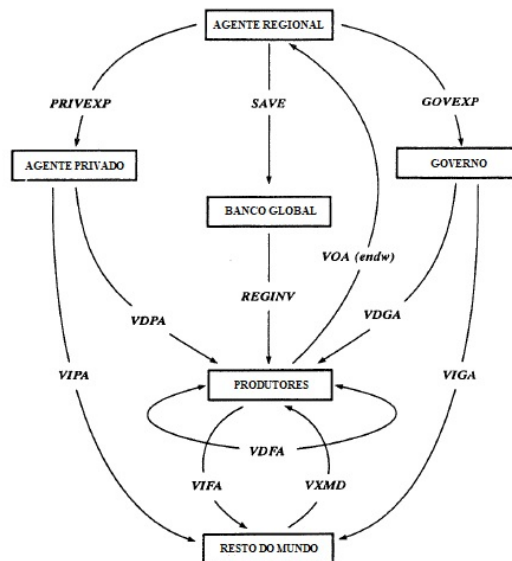
O GTAP foi desenvolvido por Thomas Hertel em 1992 com o objetivo de diminuir os custos de entrada para realizar análises quantitativas de questões econômicas no âmbito mundial (HERTEL, 1997).

4.1.1 Estrutura teórica do modelo

O GTAP é um modelo de EGC multirregional e multisetorial que assume retornos constantes de escala e competição perfeita nas atividades de produção e consumo. A versão utilizada neste trabalho é o GTAP 9 que representa as relações de consumo, produção e comércio, além de dados sobre energia e emissões de CO_2 para 140 regiões e 57 setores para o ano de 2011 (NARAYANAN; AGUIAR; MCDUGALL, 2015).

Em cada região existem indústrias que utilizam fatores primários e insumos intermediários, que são produzidos internamente ou são importados. A estrutura de funcionamento do GTAP descrita por Hertel (1997) é mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura de economia aberta multirregional



Fonte: Adaptado de Hertel (1997).

A Figura 3 mostra como são dadas as relações entre os agentes numa economia aberta multirregional, porém sem intervenção do governo e sem taxas. Nesse fluxo, os fatores primários são de propriedade dos agentes domésticos, que são representados pelo

agente regional. Eles alocam seus rendimentos para consumo privado, poupança e consumo do governo por meio do financiamento dos gastos governamentais. Com esse financiamento do agente regional, o governo compra bens e serviços tanto domésticos quanto importados. Os exportadores compram mercadorias a preços de mercado e vendem os bens para os produtores. Esses produtores vendem para regiões importadoras e compram de regiões exportadoras. Em um sistema com taxas, um sistema tributário impõe impostos em cada transação e transfere para o agente regional.

Dois setores precisam ser introduzidos para o funcionamento de uma economia aberta que não existem numa economia fechada. O banco global, mostrado no centro da figura, é o intermediário entre a poupança global e os investimentos regionais. O segundo setor global (não mostrado na figura) é dado pelo comércio internacional e atividades de transporte. Isto é, se refere às exportações regionais de produtos, transporte e serviços de seguro.

4.1.2 As relações de vendas

As relações entre os agentes podem ser escritas por meio de relações contábeis. As hipóteses feitas no modelo são de que os setores produzem uma única mercadoria e o relacionamento entre os setores produtivos e de *commodities* é feito um a um.

O agente máximo das interações econômicas no GTAP é o agente regional, localizado no topo da Figura 3. Sua representação contábil é dada pelo $VOA(i,r)$ que se refere ao "Valor do Produto ao Preço dos Agentes" e corresponde aos pagamentos recebidos pelas firmas na indústria i da região r . O VOA pode ser definido como:

$$VOA(i,r) = PS(i,r)*QO(i,r) \quad (4.1)$$

em que,

$PS(i,r)$ é o preço de oferta do produto na região r e $QO(i,r)$ é a quantidade produzida pela indústria i na região r .

Ao adicionar a receita dos impostos incididos sobre os produtores ($PTAX(i,r)$), tem-se o $VOM(i,r)$, "Valor do Produto a Preços de Mercado". Assim, tem-se:

$$VOM(i,r) = VOA(i,r) + PTAX(i,r) \quad (4.2)$$

A equação 4.2 pode ser vista como a soma do valor das vendas domésticas a preços de mercado. Para as exportações, tem-se o $VDM(i,r)$ com o valor das exportações da indústria i da região r avaliadas a preços do mercado doméstico e destinado para a região s , $VXMD(i,r,s)$. Além disso, adiciona-se as vendas para o setor de transporte internacional a preços de mercado, o $VST(i,r)$.

Para obter o valor das exportações em *free on board (fob)* é preciso adicionar as taxas de exportação, $XTAX(i,r,s)$. Sendo assim, é obtido o valor das exportações a preços mundiais por destino, $VXWD(i,r,s)$. Além das exportações, tem-se o valor *cif* das importações a preços mundiais, $VIWS(i,r,s)$.

A estrutura de formação dos preços em modelos de EGC é apresentada por Burfisher (2011) como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Estrutura de Formação de Preços

Tipo de preço	Conjuntos	Definição
Preço do Produtor (ps)	i,r	Custo de produção, inclui taxa ou subsídio de produção. Preço do produtor mais taxas de venda
Preço do Consumidor (pp)	i,r	(domésticas) e preço de importação cif mais tarifa de importação e taxas de vendas (importadas).
Preço de importação bilateral (pcif)	i,r,s	Preço bilateral de exportação mais margens comerciais cif, excluindo tarifas.
Preço de exportação bilateral (pfob)	i,r,s	Preço doméstico do exportador mais taxas de exportação.
Preço mundial de importação (pim)	i,r	Soma dos preços bilaterais cif de importação na região r, ponderada pelo comércio
Preço mundial de exportação (piw)	i,r	Soma dos preços bilaterais fob de exportação na região r, ponderada pelo comércio
Preço global (pxw)	i	Soma dos preços bilaterais de exportação de todas as regiões, ponderada pelo comércio

Fonte: Adaptado de Burfisher (2011), pág. 35.

Nota: i é o conjunto de *commodities*, r é a região exportadora e s a região importadora.

Para avaliar as vendas de *commodity* i no mercado interno a preços de mercado adiciona-se as taxas de importação, $MTAX(i,r,s)$ para obter o valor das importações a preços de mercado de acordo com a origem, $VIMS(i,r,s)$. Pode-se então, combinar as importações de diversas regiões na região compradora s , $VIM(i,s)$, que é o valor das importações de i por s a preços de mercado. Com isso, as importações das *commodities* podem ser destinadas para as famílias ($VIPM(i,s)$), governo ($VIGM(i,s)$) ou firmas ($VIFM(i,j,s)$) dentro da região s . De forma análoga, as vendas domésticas são denotadas como $VDM(i,r)$ e também podem ser distribuídas entre as famílias ($VDPM(i,r)$), governo ($VDGM(i,r)$) e firmas ($VDFM(i,j,r)$).

4.1.3 As relações de compra

Nessa seção são apresentadas as relações contábeis de compra das famílias (agente privado). O valor das compras do agente privado a preços dos agentes é dado por, $VPA(i,s)$. Ele é composto pelos gastos com os bens produzidos domesticamente ($VDPA(i,s)$), e importados a preços dos agentes ($VIPA(i,s)$). Formalmente:

$$VPA(i,s) = VDPA(i,s) + VIPA(i,s) \quad (4.3)$$

Uma vez que as taxas sobre as *commodities* para as famílias privadas são deduzidas, ($IPTAX(i,s)$), obtém-se o valor das importações para os agentes privados a preços de

mercado, $VIPM(i,s)$. Do mesmo modo, as taxas sobre as *commodities* domésticas ($DPTAX(i,s)$) são subtraídas do $VDPA(i,s)$ e assim, consegue-se o valor das compras domésticas pelos agentes privados a preços de mercado, $VDPM(i,s)$. Formalmente:

$$VIPM(i,s) = VIPA(i,s) - IPTAX(i,s) \quad (4.4)$$

$$VDPM(i,s) = VDPA(i,s) - DPTAX(i,s) \quad (4.5)$$

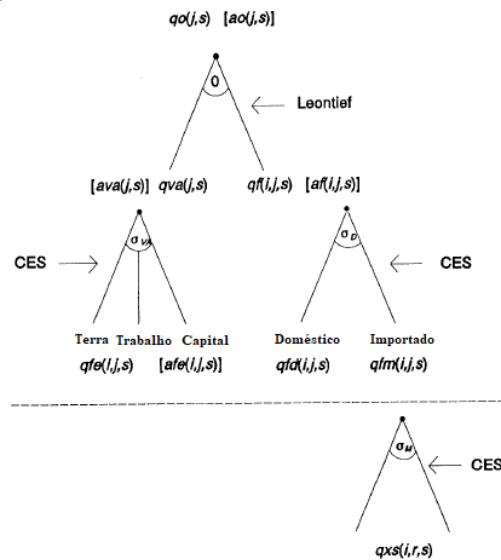
Com essas duas relações apresentadas pelas equações 4.3 e 4.4 consegue-se ligar as vendas da indústria a preços dos agentes apresentadas na seção 4.1.2 com as compras realizadas pelos agentes privados a preços de mercado. Relações semelhantes são conseguidas para as firmas. Além das receitas, o financiamento para a produção é induzido pela poupança do Banco Global, isto é, o *GLOBINV*.

O GTAP segue a hipótese de que os agentes operam na economia com lucro zero. Sendo assim, os pagamentos feitos aos produtores, de uma região para outra, devem exaurir os custos. Ou seja, qualquer renda recebida por este agente é exaurida entre impostos, insumos intermediários e fatores de produção e pela interação entre governo, firma e setor privado. Dessa forma, o pressuposto neoclássico do fechamento é respeitado, pois todos os mercados estão em equilíbrio e as famílias sobre a restrição orçamentária.

4.1.4 A Árvore Tecnológica

A estrutura de produção é representada pela Árvore Tecnológica. Esse tipo de representação é conveniente para descrever tecnologias com retornos constantes de escala, asseguradas pela hipótese de separabilidade e especificadas como funções de produção aninhadas, isto é, em níveis. Na parte inferior da árvore invertida tem-se os insumos individuais demandados pela firma na sua forma percentual. A Figura 4 apresenta a estrutura da árvore tecnológica.

Figura 4 – Estrutura da Árvore Tecnológica



Fonte: Adaptado de Hertel (1997)

No topo da árvore é apresentada a produção total, definida pela variável $qo(j, r)$ que é a produção industrial da *commodity* i na região r . Ele é o resultado da alocação feita entre insumos intermediários e fatores primários durante o processo de produção. A função de produção é dada por uma Leontief ¹, na qual a elasticidade de substituição (*ESUBT*) é do tipo CES (*Constant Elasticity Function*).

O pressuposto da separabilidade assegura que a elasticidade de substituição entre os fatores primários e os insumos intermediários seja a mesma. Sendo assim, a firma escolhe a combinação ótima desejada dos fatores independentemente dos preços dos insumos. Esse fato assegura a existência do primeiro nó na árvore por conta da elasticidade de substituição constante.

No segundo nível, a possibilidade de substituição dos fatores de produção e insumos intermediários também é definida por uma CES e atende a hipótese da separabilidade. Nesse ponto, o modelo apresenta três formas de mudanças tecnológicas: no valor adicionado, representado pela variável $ava(j, r)$; no insumo intermediário, $af(i, j, r)$ e; representando uma variação tecnológica Hicks-neutra ², na variável $ao(j, r)$.

Os pressupostos adotados no primeiro e segundo níveis da Árvore são aplicados também para os insumos domésticos e importados. A preferência das firmas para estabelecer a melhor combinação dos insumos (domésticos ou importados) é dada pela comparação entre os preços. Essas preferências seguem a estrutura de *Armington*. Em preferências desse tipo, um bem produzido em uma região é substituto imperfeito de bens produzidos

¹ Um função de produção do tipo Leontief caracteriza uma função de proporções fixas cujos bens são complementares perfeitos.

² A variação tecnológica não afeta as dotações ótimas de capital e trabalho na função de produção.

pela mesma indústria em outras regiões. Dessa forma, uma *commodity* de diferentes fontes pode ser comercializada a diferentes preços. Logo, as fontes decidem primeiramente a dotação ótima de insumos domésticos e importados (pelos preços) para depois decidirem a origem das importações.

4.1.5 Demanda Final

A demanda final diz respeito ao destino final de bens e serviços produzidos na economia. Ela compreende o consumo do setor privado, governamental e exportações.

Os gastos do governo representam o primeiro componente da demanda final. O governo usa sua renda advinda dos impostos pagos pelos agentes adquirindo *commodities*. Esses gastos tem uma elasticidade de substituição constante e seu comportamento é dado pela maximização de uma função de utilidade *Cobb-Douglas*.

O segundo componente da demanda final é o consumo privado, otimizado por uma função do tipo CDE (*Constant Difference of Elasticity*). A renda desse setor é adquirida pela venda do fator de produção trabalho na economia. E ela é gasta entre bens domésticos (*VDPA*), importados (*VIPA*) e com pagamento de impostos (*IP TAX ou DP TAX*).

O último componente, o banco global (*GLOBINV*), é destinado totalmente para o investimento (*NETINV*). Tal suposição é factível por conta do fechamento neoclássico. Assim, o banco global retém os fluxos de poupança, proveniente de todas as regiões e distribui como investimento para os produtores de cada região.

4.1.6 Fechamento (*Closure*)

O fechamento ou *closure* do modelo representa as variáveis endógenas e exógenas que são consideradas. Para obter uma solução, o número de equações deve ser igual ao número de variáveis endógenas. Para que essa condição seja satisfeita, algumas variáveis devem ser consideradas exógenas ao modelo. No fechamento utilizado no modelo, tem-se mobilidade do capital. Além disso, a variável *ams*, o termo de mudança tecnológica da importação de *i* da região *r* para a região *s*, foi endogeneizada e a variável *qxs*, variação nas exportações da *commodity i* da região *r* para a região *s*, se tornou exógena, compondo assim, o fechamento do modelo ³.

4.2 Variação Equivalente (EV)

A variação do bem-estar no GTAP é captada pela Variação Equivalente (EV). Essa medida é igual à diferença entre a despesa requerida para obter o novo nível de utilidade

³ As variáveis que compõem o *closure* do GTAP e suas descrições são apresentadas no Apêndice A.

aos preços iniciais após a simulação (YEV) e o nível de utilidade disponível no equilíbrio inicial (Y) (FEIJÓ; ALVIM et al., 2010). A equação 4.7 demonstra essa relação:

$$EV = YEV - Y \quad (4.6)$$

Na seção a seguir serão descritos os procedimentos realizados para a obtenção do GTAP-BIOBR, modelo derivado do GTAP padrão para analisar os setores de biocombustíveis. Além disso, serão apresentados os cenários e o choques para as simulações.

4.3 O Modelo GTAP-BIOBR

Para realizar as análises nesse trabalho foi utilizada uma versão modificada da base de dados GTAP-BIO de Taheripour et al. (2007). A primeira versão do GTAP-BIO foi construída baseada no GTAP 6, que representa a economia mundial de 2001. Essa base cobre a produção, o consumo e o comércio mundial da primeira geração de biocombustíveis, isto é, etanol de grãos (eth1), etanol da cana (eth2) e biodiesel (biod).

Seguindo a metodologia utilizada por Taheripour et al. (2007), o presente trabalho introduziu a produção, o consumo e o comércio mundial para os biocombustíveis na base de dados do GTAP 9, pois essa base não possui o setor de biocombustíveis desagregado. O etanol do milho foi chamado aqui de Biocombustível-1 e o etanol da cana de Biocombustível-2. A nova base de dados foi desenvolvida com base em duas hipóteses. Assumiu-se a estrutura brasileira para desagregar o setor de Biocombustível-2. Além disso, foi assumido também que o processo de produção desses biocombustíveis não gera sub-produtos. Os dados apresentados nesse capítulo são consistentes com os dados do GTAP, eles serviram de base para a criação do setor de biocombustíveis.

O primeiro passo foi definir a agregação regional e setorial. Utilizando o *GTAPagg*⁴, a agregação regional foi definida de acordo com a importância de cada região na produção e no mercado de biocombustíveis. Já os setores foram agregados em 19 grandes setores. Desta forma, a base de dados a ser trabalhada, denominada GTAP-BIOBR, reconhece 16 regiões, 19 setores e 5 fatores de produção.

O segundo passo foi definir o comércio internacional de combustíveis renováveis. Para o eth1 foi utilizado o mesmo procedimento apresentado no GTAP-BIO, pois não foi possível obter informações detalhadas sobre esse setor dos países produtores. Já o eth2 foi estruturado com informações específicas de exportações, importações e usos domésticos do etanol no Brasil. Essas informações foram obtidas pelas matrizes insumo-produto de 2010 do IBGE e de 2011 do Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP (NEREUS). Após

⁴ *GTAPagg* é um programa usado para escolher a agregação regional/setorial a partir da base de dados do GTAP (HORRIDGE, 2015).

a definição do comércio, foi preciso definir quais setores do GTAP seriam divididos para a criação desses novos setores de biocombustíveis.

O último passo foi utilizar o programa *SplitCom* para gerar o GTAP-BIOBR. Como o *SplitCom* pode dividir apenas um setor por vez, foi introduzido o eth1 primeiro. Assim, a base gerada dessa primeira divisão foi empregada para introduzir o eth2. Para cada uma dessas *commodities* foi desenvolvido um *TAB file* que atualiza o arquivo de pesos (*userwgt.har*⁵) do *SplitCom* de acordo com a base de dados fornecida. As seções a seguir apresentam os passos utilizados para a construção do GTAP-BIOBR.

4.3.1 1ª Etapa: Agregação regional e setorial

Pelo programa *GTAPAgg* foram realizadas as agregações necessárias para a nova base de dados. A agregação regional foi definida de acordo com a importância de cada país no comércio internacional de biocombustíveis. Sendo assim, chegou-se a um conjunto de 16 regiões que representam mais adequadamente o mercado de biocombustíveis, isto é, principais produtores e compradores desse produto. Os 57 setores foram agregados em 19 grandes setores, de acordo com as características de cada um. Por último, ficaram definidos os 5 fatores primários de produção.⁶

4.3.2 2ª Etapa: Produção e comércio de biocombustíveis em 2011

Em 2011, o universo de países produtores de biocombustíveis, principalmente, etanol foi maior do que aquele apresentado em 2001. Porém, pela falta de informações detalhadas sobre a produção de etanol de grãos na estrutura produtiva dos países, optou-se por utilizar a mesma estrutura regional dos países produtores e compradores de etanol do GTAP-BIO. Contudo, os maiores produtores mundiais de etanol não se modificaram nesses dez anos, EUA e Brasil. Esses dois países representavam em 2011, 95% da produção mundial de etanol (EIA, 2011).

Portanto, os produtores de etanol estão representados na tabela a seguir:

⁵ Esse arquivo fornece os pesos para a divisão dos setores.

⁶ As regiões, os setores e fatores estão discriminados nos Apêndices B, C e D.

Tabela 6 – Produção mundial de etanol em 2011*

Regiões	Produção	%
Estados Unidos	904,1	67,79
Canadá	28,1	2,11
França	18,5	1,39
Espanha	8,0	0,60
República Tcheca	1,2	0,09
Eslováquia	2,1	0,16
Brasil	367,1	27,52
Paraguai	2,6	0,19
América Central	2,0	0,15
Total	1333,7	100

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da EIA.

* produção em mil barris por dia

Estados Unidos, Canadá, França, Espanha, República Tcheca e Eslováquia representam a produção de biocombustível-1. Já a produção de biocombustível-2 é dada por Brasil, Paraguai e América Central.

Assim como na produção, a estrutura de comércio de biocombustível-1 foi a mesma utilizada por Taheripour et al. (2007) na construção do GTAP-BIO. Essa dinâmica de exportações e importações para 2001 é mostrada no Quadro 1:

Quadro 1 - Exportadores e Importadores de biocombustível-1

Países Exportadores e Importadores biocombustível-1		Países Importadores biocombustível-1			
		Estados Unidos	França	República Tcheca	Eslováquia
Países Exportadores	Canadá	X			
	Dinamarca		X	X	
	República Tcheca		X		X
	Eslováquia			X	

Fonte: Elaboração Própria com base em Taheripour et al. (2007).

Considera-se que toda a produção de biocombustível-1 é destinada para o consumo das famílias, tanto domésticas quanto estrangeiras. No caso do biocombustível-2, especificamente para o Brasil, permitiu-se o uso como insumo intermediário além do consumo final. Essa distribuição de etanol da cana-de-açúcar entre os setores baseou-se nas informações obtidas com a matriz insumo-produto de 2010 (IBGE, 2011). O uso de etanol por outros setores equivalia a 9,7% do uso total desses setores na economia. Além disso, esse biocombustível representou 17% do consumo de produtos químicos das famílias brasileiras. O uso doméstico desse biocombustível está representado na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo doméstico do Biocombustível-2 no Brasil - US\$ milhões

	Setores	Uso eth2	%
S1	Agricultura	9190,1	43,33
S2	Pecuária e produtos animais	260,4	1,23
S3	Extração	162,8	0,77
S4	Biocombustível-1	68,5	0,32
S5	Alimentos e bebidas	1042,8	4,92
S6	Têxtil e vestuário	0	0,00
S7	Indústria leve	65,2	0,31
S8	Petróleo, carvão e gás	0	0,00
S9	Produtos minerais	0	0,00
S10	Produtos de metais ferrosos	0	0,00
S11	Metais	0	0,00
S12	Indústria pesada	62,6	0,30
S13	Eletricidade	69,5	0,33
S14	Construção e serviços de util. pública	104,5	0,49
S15	Transporte rodoviário	521,1	2,46
S16	Transporte marítimo	5,8	0,03
S17	Transporte aéreo	4,8	0,02
S18	Comércio e comunicação	1003,1	4,73
S19	Outros serviços	828,8	3,91
S20	Famílias	7817,1	36,86
S21	Investimento	0	0,00
S22	Governo	0	0,00
	Total	21207,1	100,00

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da matriz insumo-produto de 2010 do IBGE.

É possível perceber que a agricultura foi o setor que usou a maior quantidade de etanol da cana, isto é, 43,33% do biocombustível-2 foi consumido pelo setor de agricultura no Brasil. Já os setores de têxtil e vestuário, petróleo, carvão e gás e de produtos minerais não fazem uso do etanol no seu processo de produção. Como dito anteriormente, na demanda final (famílias, investimento e governo), o consumo de biocombustível é feito somente pelas famílias, com participação de 36,86% do total consumido de etanol.

Para o biocombustível-2, como o Brasil é o grande produtor desse biocombustível, assumiu-se que a dinâmica de comércio seria determinada por esse país, ou seja, as exportações de etanol da cana são feitas apenas pelo Brasil, mesma hipótese utilizada por Taheripour et al. (2007). A partir de dados do portal Aliceweb⁷ para exportações brasileiras de etanol⁸ em 2011, desenvolveu-se a dinâmica de exportações do Brasil e importações das demais regiões. Assume-se também a hipótese de que o Brasil não é importador de etanol. O padrão de comércio do biocombustível-2 é mostrado no Quadro 2

⁷ Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior que divulga as estatísticas brasileiras de exportações e importações.

⁸ No Aliceweb, o etanol é identificado como Álcool Etilíco com os códigos da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) 22071000 e 22071010.

a seguir.

Quadro 2 - Países importadores de biocombustível-2 em 2011

Regiões	%	Regiões	%
Estados Unidos	40,07	Chile	0,28
Japão	13,53	Uruguai	0,22
Coreia do Sul	13,51	México	0,2
Trinidad e Tobago	7,49	Rep Dominicana	0,07
Jamaica	5,72	Panamá	0,01
Países Baixos	3,94	Alemanha	0,00*
Suíça	3,33	Bolívia	0,00*
Nigéria	2,93	Cabo Verde	0,00*
El Salvador	2,41	China	0,00*
Índia	1,53	Colômbia	0,00*
Porto Rico	1,23	Equador	0,00*
Bélgica	0,88	Guiné Equatorial	0,00*
Austrália	0,71	Itália	0,00*
Angola	0,69	Moçambique	0,00*
Argentina	0,62	Paraguai	0,00*
África do Sul	0,33	Peru	0,00*
Gana	0,29	Serra Leoa	0,00*

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Aliceweb.

*Valores muito pequenos.

Pelo Quadro-2 é possível perceber que o mercado de destino do biocombustível-2 é bastante diversificado, envolvendo países de diferentes níveis de desenvolvimento e de todas as partes do globo. Os Estados Unidos foram o principal país importador brasileiro, representando mais de 40% das exportações naquele ano. Além disso, a Ásia também se mostra como um importante importador de etanol, com Coreia do Sul e Japão representando em torno de 13,5% das exportações cada um. Por outro lado, a demanda chinesa de etanol é pequena.

Os dados dos Quadros 1 e 2 foram utilizados para a construção dos fluxos de comércio entre os países de biocombustível-1 e biocombustível-2, respectivamente. A Tabela 8 apresenta a dinâmica das exportações brasileiras aplicada ao GTAP 9. As exportações de etanol representam 6,63% das exportações de produtos químicos de acordo com a matriz do IBGE de 2011. Sendo assim, aplicando essa porcentagem aos valores do GTAP, chegou-se ao total de 1121 milhões de dólares.

Tabela 8 – Exportações brasileiras de Biocombustível-2 no GTAP-BIOBR - US\$ milhões

	Regiões	Exportação biocombustível-2	%
1	China	0	0
2	Japão	151,7	13,53
3	Coreia	151,5	13,51
4	Resto da Ásia	17,1	1,52
5	Estados Unidos	449,2	40,07
6	Resto da América do Norte	2,3	0,20
8	Argentina	6,9	0,61
9	Chile	3,1	0,28
10	Venezuela	0	0,00
11	Resto da América do Sul	2,5	0,23
12	Alemanha	0	0
13	França	0	0
14	Itália	0	0
15	Resto da Europa	91,4	8,15
16	Resto do Mundo	245,4	21,85
	Total	1121,1	100

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da matriz insumo-produto do IBGE.

Na próxima etapa são apresentados os setores do GTAP que foram divididos para a inclusão dos biocombustíveis na base.

4.3.3 3ª Etapa: Setores para divisão

A divisão dos setores seguiu o padrão utilizado por Taheripour et al. (2007). Então, a seguinte estrutura foi aplicada para introduzir os novos produtos na base do GTAP:

- biocombustível-1 foi separado do setor de alimentos processados (ProcFood);
- biocombustível-2 foi separado do setor de químicos (Chemical).

Para o lado da produção, os custos para o biocombustível-1 foram os mesmos definidos no GTAP-BIO. Para o biocombustível-2, os custos de produção foram definidos de acordo com a matriz insumo-produto de 2011 (GUILHOTO et al., 2010). A Tabela 9 retrata essas estruturas de custos para cada setor da economia.

Tabela 9 – Custos de produção biocombustível-1 e biocombustível-2

Setores		Custos de produção Biocombustível-1	Custos de produção Biocombustível-2
S1	Agricultura	39,40%	48,00%
S2	Pecuária e produtos animais	0,00%	1,30%
S3	Extração	0,00%	0,50%
S4	Biocombustível-1	0,00%	0,00%
S5	Alimentos e bebidas	0,00%	7,60%
S6	Têxtil e vestuário	0,00%	0,00%
S7	Indústria leve	0,00%	0,30%
S8	Petróleo, carvão e gás	0,00%	0,00%
S9	Produtos químicos	7,90%	0,00%
S10	Produtos minerais	0,00%	0,00%
S11	Produtos de metais ferrosos	0,00%	0,00%
S12	Metais	0,00%	0,00%
S13	Indústria pesada	0,00%	4,00%
S14	Eletricidade	12,40%	0,30%
S15	Construção e serviços de util. Pública	0,10%	0,10%
S16	Transporte rodoviário	0,40%	5,90%
S17	Transporte marítimo	0,10%	0,10%
S18	Transporte aéreo	0,00%	0,00%
S19	Comércio e comunicação	1,10%	5,10%
S20	Outros serviços	0,70%	6,20%
S21	Terra	0,00%	0,00%
S22	Trabalho não qualificado	2,00%	10,20%
S23	Trabalho qualificado	0,90%	2,00%
S24	Capital	35,00%	8,40%
S25	Recursos naturais	0,00%	0,00%
S26	Impostos	0,00%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de Taheripour et al. (2007) e Guilhoto et al. (2010).

Assumiu-se que todos os insumos são produzidos domesticamente. Com isso, é possível perceber pela tabela que os custos com matéria-prima representam em torno de 39% e 50% dos custos de produção do etanol. O maior custo na produção do biocombustível-2, é com produtos agrícolas, principalmente, com a cana-de-açúcar, sua matéria prima principal. Logo depois, os maiores custos são com trabalho não qualificado, pois é um setor intensivo em trabalho no momento da colheita da cana. Por outro lado, a produção de biocombustível-1 é intensiva em capital, que representa 35% dos custos e utiliza muita eletricidade, com participação de 12%. Além disso, foi feita uma hipótese adicional de que não existem custos com impostos nem com recursos naturais devido à restrição do GTAP. Dois arquivos foram criados com os dados da estrutura de custos das novas *commodities*. A criação desses arquivos é explicada na próxima etapa.

4.3.4 4ª etapa: Utilizando o *SplitCom*

O *SplitCom* foi usado para introduzir os novos setores no GTAP. Para cada novo setor foi desenvolvido um TAB file que é atualizado com os pesos (*userwgt.har*) do *SplitCom* de acordo com as informações das etapas anteriores. O procedimento é explicado a seguir.

4.3.4.1 Criação do biocombustível-1

1. A base de dados do GTAP obtida com a agregação na etapa 1 e seus arquivos associados (*basedata.har*, *default.prm* e *sets.har*) foram copiados para a pasta *input* do programa *SplitCom*. O arquivo *basedata.har* agrega as informações do fluxo de comércio, o *default.prm* especifica as elasticidades e o arquivo *sets.har* especifica os conjuntos de produtos comercializáveis, regiões e fatores primários.
2. Primeiramente, o *SplitCom* foi usado para separar o setor de ProcFood em eth1 e ProcFoodn (setor de alimentos e bebidas sem o biocombustível-1) com pesos simples de 50% para eth1 e 50% para ProcFoodn. O propósito dessa etapa foi criar uma nova base de dados com arquivos necessários para as próximas etapas.⁹
3. Esses pesos foram trocados para 0,000001% para eth1 e 0,999999% para o ProcFoodn e o programa foi executado novamente. O propósito dessa ação foi programar o *SplitCom* a executar os pesos desejados.
4. Para fazer o programa aceitar os pesos desejados, foram adicionados novos *headers* ao arquivo *userwgt.har*. Foram adicionados *TWGT*, *RWGT*, *CWGT* e *XWGT*.¹⁰
5. Um arquivo TAB foi usado para atualizar os *headers* do *userwgt.har* com os dados das etapas 3 e 4. Esse arquivo TAB foi preparado para ler os dados do arquivo *eth1data.har* e calcular novos pesos para dividir ProcFood em eth1 e ProcFoodn. O *eth1data.har* tem alguns *headers* e contém os dados das vendas (ROWI), custos (TEC), uso doméstico (ROWD) e comércio do biocombustível-1 (TRAD).
6. O *SplitCom* foi usado para atualizar o *userwgt.har* para obter a divisão final. Com isso, obteve um novo arquivo *basedata.har*, isto é, o modelo GTAP com Biocombustível-1 desagregado.

4.3.4.2 Criação do biocombustível-2

A base de dados do modelo obtido na seção 4.3.4.1, e seus arquivos associados foram copiados para a pasta *input* do *SplitCom*. E então seguiu-se os passos de 1 a 6 da

⁹ O *SplitCom* criou um arquivo *userwgt.har* com esses pesos primários.

¹⁰ Esses *headers* são encontrados no arquivo *nuwgt.har* e são usados para especificar divisões mais complexas de setores. São desenvolvidos para introduzir os fluxos reais de vendas, custos, uso doméstico e comércio no *SplitCom* com base nos pesos 0,000001% e 0,999999%.

subseção anterior para separar o setor Chemical em eth2 e Chemicaln (setor de produtos químicos sem o biocombustível-2). Para o passo 5, foi usado um outro TAB para ler os dados do arquivo *eth2data.har* e calcular novos pesos para dividir Chemical em eth2 e Chemicaln. Esse arquivo *eth2data.har* tem os dados das vendas, custos, uso doméstico e comércio para o biocombustível-2. Isto é, para o Brasil foram utilizadas as informações da Tabela 7 no *header* ROWD, os dados da Tabela 8 nos *headers* ROWI e TRAD e, por fim, a Tabela 9 foi utilizada para construir o *header* TEC.

Após a realização dessas etapas, foi obtida a base de dados final do GTAP-BIOBR. Essa base, tem então, os setores de biocombustíveis (eth1 e eth2), 21 setores no total, especificados para 16 regiões no ano de 2011.

Nessa seção foram apresentados o modelo padrão do GTAP e a construção do GTAP-BIOBR, modelo utilizado para atingir os objetivos desejados no trabalho. De posse dessas informações, a contribuição do presente estudo na literatura se dá pela construção de um modelo global de EGC que enfatiza o mercado brasileiro de biocombustíveis. Optou-se por um modelo global pela importante inserção brasileira no mercado mundial ocorrida na última década, e também pelo Brasil ser um *player* no mercado de biocombustíveis, principalmente, de etanol. Sendo assim, as políticas ambientais e/ou de biocombustíveis mundiais podem ser capazes de impactar todas as economias, incluindo o Brasil que desempenha papel de destaque no fornecimento de combustíveis renováveis.

Além disso, a escolha dos biocombustíveis para analisar as políticas ambientais e energéticas do Brasil é relativamente nova na literatura brasileira. Como visto na subseção 3.1, os modelos para analisar o setor energético tais como suas políticas, são desenvolvidos com dados gerais desse setor, não considerando de forma isolada o impactos econômicos do setor de biocombustíveis.

4.4 Estratégia de análise

O objetivo do trabalho é identificar as implicações causadas pelas políticas que visam o uso mais intensivo de biocombustíveis de regiões como Estados Unidos e União Europeia. Para isso se faz uso de uma estratégia relacionada ao nível de produção estabelecida pelos mandatos de biocombustíveis. Essa intervenção funcionaria como um ganho de mercado para o etanol produzido no Brasil.

A hipótese do trabalho é de que o aumento da demanda mundial por biocombustíveis por conta da busca por maior segurança energética, preocupação com a volatilidade dos preços do petróleo e mudanças climáticas (TIMILSINA; SHRESTHA, 2014), impactaria a economia dos principais produtores desses combustíveis, principalmente, o Brasil. De acordo com Timilsina (2014), a participação de combustíveis alternativos no setor de transportes de Brasil (20, 1%), Estados Unidos (4, 4%) e União Europeia (4, 2%) é maior

do que a média mundial de 3,4%. Por conta disso, o etanol é um produto com potencial de expansão para suprir a crescente demanda mundial. O Brasil, além de ser o segundo maior consumidor e produtor, ainda é o pioneiro no desenvolvimento da produção desse combustível e de motores adaptados ao uso do etanol. Portanto, o país tem estrutura para suprir a demanda mundial crescente de biocombustíveis.

Os mandatos dos EUA e UE estipulam metas de produção e consumo de biocombustíveis para os próximos anos. Como dito anteriormente, questões como segurança energética, volatilidade do preço do petróleo, mudanças climáticas e custos de produção são apontadas como justificativa para a criação dessas políticas de energias alternativas.

Nos EUA o *Energy Independence and Security Act of 2007* estipula que a produção de combustíveis renováveis seja de 36 bilhões de galões em 2022. Sendo que desse total, 15 bilhões de galões sejam de etanol. Como mostrado na Tabela 1, o total de biocombustíveis produzidos no país era, em 2012, de 921 mil barris por dia, o que equivale a 14,1 bilhões de galões por ano. O total de etanol gerado era de 857 mil barris por dia, ou seja, 13,1 bilhões de galões, como mostrado na Tabela 2. Além disso, o total de biocombustíveis consumidos foi de 13,8 bilhões de galões (901 mil barris) e de etanol o consumo foi de 12,8 bilhões de galões (837 mil barris por dia) em 2012, volume abaixo do que a política estipula. Essa política foi criada após o etanol ganhar espaço como aditivo da gasolina e seu preço declinar. A Tabela 10 mostra a produção mista de biocombustíveis nos Estados Unidos de 2008 a 2022.

Tabela 10 – Produção mista de biocombustíveis nos EUA até 2022, em bilhões de galões

Ano	Etanol	Biocombustíveis de 2ª geração	Biocombustível de celulose	Biodiesel	Biocombustível indiferenciado avançado	Total
2008	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00
2009	10,50	0,60	0,00	0,50	0,10	11,10
2010	12,00	0,95	0,10	0,65	0,20	12,95
2011	12,60	1,35	0,25	0,80	0,30	13,95
2012	13,20	2,00	0,50	1,00*	0,50	15,20
2013	13,80	2,75	1,00	1,00*	0,75	16,55
2014	14,40	3,75	1,75	1,00*	1,00	18,15
2015	15,00	5,50	3,00	1,00*	1,50	20,50
2016	15,00	7,25	4,25	1,00*	2,00	22,25
2017	15,00	9,00	5,50	1,00*	2,50	24,00
2018	15,00	11,00	7,00	1,00*	3,00	26,00
2019	15,00	13,00	8,50	1,00*	3,50	28,00
2020	15,00	15,00	10,50	1,00*	3,50	30,00
2021	15,00	18,00	13,50	1,00*	3,50	33,00
2022	15,00	21,00	16,00	1,00*	4,00	36,00

Fonte: Adaptado de Renewable Fuels Association.

*Volume mínimo de biodiesel.

Na União Europeia, o BFD determina que 10% dos combustíveis utilizados no setor de transporte seja de fontes renováveis até 2020. Os biocombustíveis podem ser produzidos interna ou externamente, já que os países europeus não são capazes de suprir toda a demanda. Segundo dados da EIA, em 2012, a produção de biocombustíveis e de

etanol na UE foram, respectivamente, de 4 bilhões de galões e 1 bilhão de galões. Porém, o consumo total e de etanol são de 5 bilhões de galões e 1,5 bilhão de galões, respectivamente. Ou seja, o consumo de biocombustíveis é maior que a produção, sendo necessário importar essa diferença de outras regiões. A Tabela 11 apresenta os números da produção prevista de etanol nessa região até 2020.

Tabela 11 – Produção de Etanol na União Europeia (2011-2020), milhões de litros

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produção Etanol Europa	4392	4658	5000	5253	5316	5615	5340	5380	5541	5706

Fonte: Elaboração própria a partir de dados USDA (2016).

A produção de etanol na União Europeia apresentaria um crescimento anual de, aproximadamente, 3% ao ano até 2020, chegando a 5,7 bilhões de litros no final do período.

Com base nas informações das políticas de biocombustíveis tanto dos Estados Unidos quanto da União Europeia é possível traçar uma perspectiva do uso de etanol por essas regiões de 2011 até 2020. As informações sobre as mudanças no consumo de combustíveis líquidos dos Estados Unidos estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12 – Estrutura de Consumo de Etanol nos Estados Unidos

Consumo Combustíveis Líquidos (Transporte)¹¹	2011	2015	2020
Petróleo	25,9	27,1	27,5
Etanol	1,09	1,38	1,90
Participação de etanol nos líquidos	4,21%	5,09%	6,92%
Preço médio do Etanol ¹²	2,41	2,38	2,83
variação % no consumo de etanol		26,55	37,96

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da US Energy Information Administration (EIA) e Hertel, Tyner e Birur (2010).

Para os Estados Unidos, o valor de 5,09% de participação do etanol no consumo de combustíveis líquidos em 2015 foi baseado no valor adotado por Hertel, Tyner e Birur (2010). Na projeção de 2020, optou-se por estabelecer o percentual de 6,92%, já que o mandato norte-americano não estipula uma meta de consumo. Portanto, é possível perceber que o consumo americano de etanol teria um crescimento de 74,6% entre 2011 e 2020, com uma expansão maior na segunda metade da década, já que até 2015 a expansão foi de 26,55%. A estrutura de consumo da União Europeia é mostrada na Tabela 13.

¹¹ As quantidades consumidas de combustíveis são dadas em *QBTU*. $1QBTU = 8,01E + 09$ galões

¹² Os preços médios de etanol estão deflacionados para o ano de 2011. O preço nos Estados Unidos é dado em $\$/galão$ disponibilizado pela EIA.

Tabela 13 – Estrutura de Consumo de Etanol na União Europeia

Consumo Combustíveis Líquidos (Transporte)	2011	2015	2020
Petróleo (milhões de litros)	114708	105170	89677
Etanol (milhões de litros)	5703	5425	6053
Participação de etanol nos líquidos (%)	5	5,2	6,75
Preço médio do Etanol ¹³	2,38	1,39	1,55
Variação % no consumo de etanol		-4,87	11,58

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da USDA (2017) e Índice Nasdaq.

Os dados da União Europeia sobre consumo de etanol e gasolina para 2011 e 2015 foram obtidos no relatório da USDA (2017). Para 2020 foi feita uma projeção de que 6,75% dos combustíveis consumidos nos países europeus sejam de biocombustíveis, diferente do que foi estipulado no documento Europa (2009). Porque a meta de 10% não deve ser atingida até 2020, como as metas 2010 (5,75%) e 2015 (6,25%) que também não foram alcançadas. Portanto, estabeleceu-se uma porcentagem intermediária.

Especificadas as metas de produção e consumo de etanol para o ano de 2020 para essas regiões, é necessário avaliar se a produção desse biocombustível é capaz de suprir demanda. A Tabela 14 apresenta esses valores, tanto em quantidade quanto em termos monetários.

Tabela 14 – Consumo e Produção de Etanol nos EUA e UE em 2020

	Estados Unidos	União Europeia
Produção (bilhões de galões)	15,00	1,51
Valor da Produção (bilhões de dólares)	42,45	2,34
Consumo (bilhões de galões)	15,24	1,60
Valor do Consumo (bilhões de dólares)	43,12	2,48
Variação consumo/produção	1,58%	6,1%
Variação consumo/exportação Brasil	48,92%	56,94%

Elaboração própria a partir de dados da BP statistical review of world energy, Renewable Fuels Association e USDA (2017).

O mandato de biocombustíveis dos Estados Unidos estipula que a produção de etanol deveria ser de 15 bilhões de galões até 2022. Entretanto, o consumo desse biocombustível seria de, aproximadamente, 15,24 bilhões de galões com uma participação de 6,92% no mercado de combustíveis líquidos no setor de transportes. Ou seja, para suprir a demanda, os Estados Unidos deveriam importar 1,58% a mais de etanol para atender seu mercado interno. Essa importação a mais de etanol nos Estados Unidos significa que o Brasil deveria aumentar em 48,92% as exportações desse biocombustível para o país.

¹³ Preço futuro do etanol, em dólares, correspondente ao primeiro mês de cada ano. O preço de 2020 foi obtido a partir do preço de janeiro de 2017.

Na União Europeia, em 2020, a produção e o consumo de etanol seria de 1,51 bilhões de galões e 2,34 bilhões de galões, respectivamente. O consumo desse biocombustível seria 6,1% maior que a produção interna, então, para o Brasil suprir essa demanda, as exportações de etanol do Brasil para a União Europeia deveriam expandir em 56,94%.

Para cobrir a demanda de etanol nos mercados internos europeu e norte-americano, as importações desse biocombustível devem aumentar. Portanto, como no modelo o Brasil é o grande produtor de etanol, a hipótese assumida seria a de que esse país seria o responsável por suprir o aumento na demanda nessas regiões. Isto é, as exportações brasileiras de etanol deveriam aumentar de forma a atender as necessidades dos mercados dos Estados Unidos e à União Europeia. Como foi mencionado anteriormente no trabalho, tal simulação da política é factível dadas as condições existentes no Brasil que possibilitam expandir a produção de biocombustíveis, tais como, a disponibilidade de terras, a produtividade da cana-de-açúcar e o conhecimento da tecnologia de produção do etanol.

4.5 Cenários

O decreto de mandatos de biocombustíveis em diversas regiões pressionam para uma expansão mundial do consumo e da produção de etanol. Logo, essas políticas influenciam não só a economia interna mas também as demais economias, sobretudo, aquelas produtoras de etanol. Nesse contexto encontra-se o Brasil, grande produtor de etanol e com grande potencial de expansão dessa produção devido à disponibilidade de terras e alta produtividade da cultura da cana-de-açúcar, como dito anteriormente. Por consequência, o país pode ser o maior exportador desse tipo de biocombustível para atender à demanda crescente do consumo de etanol por outros países. Isso pode ser obtido através da simulação de choques nas exportações brasileiras de etanol para os Estados Unidos e para a União Europeia.

No modelo, as políticas serão avaliadas por choques no parâmetro qxs , que inicialmente era endógeno. Para essa variável se tornar exógena, foi preciso que a variável ams fosse endogeneizada. A variável qxs captura as mudanças nas exportações da *commodity* i da região r para a região s . A equação dessa variável é especificada da seguinte forma:

$$qxs(i, r, s) = -ams(i, r, s) + qim(i, s) - ESUBM(i) * [pms(i, r, s) - ams(i, r, s) - pim(i, s)] \quad (4.7)$$

em que $ams(i, r, s)$ é o termo de mudança tecnológica da importação de i da região r para a região s , $qim(i, s)$ representa as importações agregadas de i na região s a preços de mercado. A variável $ESUBM(i)$ é o parâmetro de substituição entre as *commodities* importadas de diferentes regiões na estrutura de utilidade/produção Armington do agente/setor em todas as regiões. Os preços são representados pelas

variáveis pms e pim . $pms(i, r, s)$ é o preço doméstico do bem i ofertado por r na região s , $pim(i, s)$ preço de mercado do composto de importação i em r .

O valores definidos para os choques na variável qxs são os valores obtidos da variação entre consumo de etanol nos Estados Unidos e União Europeia e exportação desse combustível do Brasil para essas regiões, como mostrado na Tabela 14. Então serão construídos três cenários para avaliar os impactos do aumento da demanda mundial de etanol sobre a economia brasileira.

- Cenário 1: Choque de 48,92% nas exportações para os Estados Unidos.

Esse cenário promove uma simulação de choque na exportação brasileira de etanol da cana-de-açúcar (biocombustível-2) para os Estados Unidos. O choque nessa simulação envolve uma variação positiva das exportações para os Estados Unidos para avaliar, isoladamente, o impacto sobre a economia brasileira e de outras regiões do aumento da demanda norte-americana de etanol combustível.

- Cenário 2: Choque de 56,94% nas exportações para a União Europeia.

Nesse cenário é realizada uma simulação de choque na exportação brasileira de biocombustível-2 para a União Europeia. O choque envolve também uma variação positiva das exportações em direção aos países europeus a fim de avaliar os impactos sobre a economia brasileira e de outras regiões.

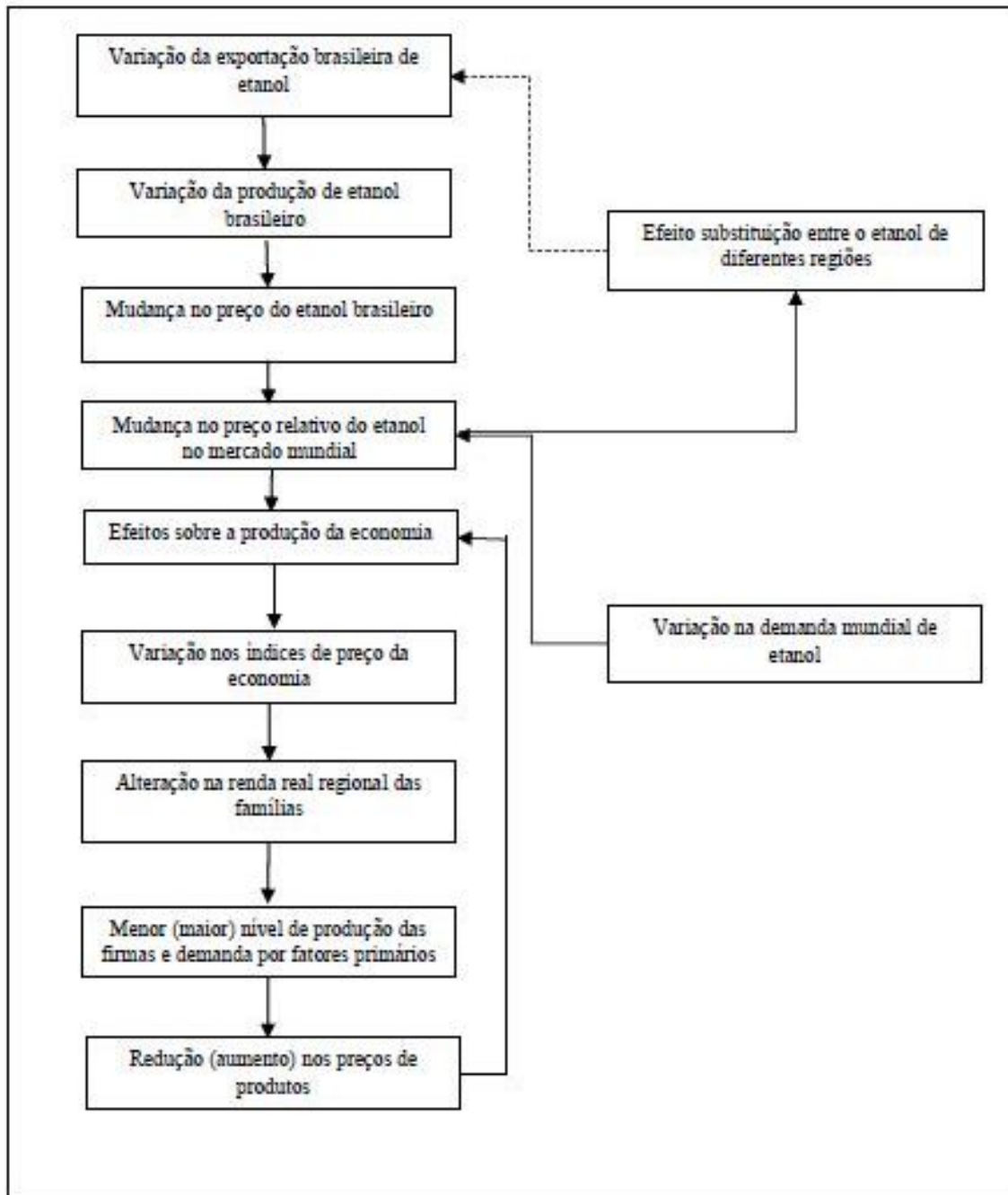
- Cenário 3: Choque nas exportações para os Estados Unidos e União Europeia.

Nesse último cenário é feita uma simulação de choque conjunto nas exportações do Brasil tanto para os Estados Unidos quanto para a União Europeia (Alemanha, França, Itália e Resto da Europa). O choque envolve uma variação positiva das exportações de etanol para as regiões com o objetivo de analisar o impacto sobre a economia brasileira e de outras regiões de um aumento mundial na demanda por biocombustíveis.

4.6 Mecanismo de Propagação do Choque

A presente seção tem o objetivo de apresentar os mecanismos de propagação dos efeitos provocados pelo choque sobre as exportações brasileiras de etanol na economia. Para isto, busca-se evidenciar as principais variáveis envolvidas no processo e os meios pelos quais esses elementos se conectam de acordo com as equações do modelo. A Figura 5 ilustra como o choque nas exportações de etanol no Brasil se propaga pela economia de acordo com as equações do GTAP.

Figura 5 – Relações Causais do Mecanismo de Funcionamento do Modelo à Expansão da Exportação Brasileira de Etanol.



Fonte: Elaboração própria com base no sistema de equações do GTAP.

A expansão da exportação brasileira de etanol seria resultado de um crescimento na demanda mundial dessa *commodity* que afetaria o seu preço relativo no mercado global, causando assim, uma substituição no consumo de etanol de diferentes regiões. A variação nas exportações influencia a produção de etanol e, conseqüentemente, o preço doméstico e mundial.

A redução do preço tende a estimular a produção doméstica a fim de atender a demanda estrangeira. Assim, efeitos multiplicadores ocorrem associados ao aumento da

produção como a geração de empregos e renda. O aumento do emprego e da renda eleva o poder aquisitivo das famílias que podem aumentar mais o consumo e estimular ainda mais a economia.

Os resultados nas variáveis econômicas e de bem-estar dos três cenários simulados são apresentados e detalhados próximo capítulo.

5 Resultados

Os modelos de equilíbrio geral partem de um estado de equilíbrio. Portanto, os choques provocam um desequilíbrio por meio de uma variação exógena em determinada(s) variável(eis). Neste trabalho é simulada uma variação positiva das exportações de etanol no Brasil.

A Tabela 15 mostra as variações no PIB das regiões sob os três cenários simulados. De forma geral, a expansão da exportação de biocombustível-2 brasileira impactaria pouco o PIB tanto do país quanto das demais regiões. Sob Cenário 3 ocorreria as maiores variações do PIB, já que ele projeta os efeitos conjuntos da política. Isso ocorre por causa da estrutura do modelo, isto é, o GTAP é um modelo linear e como a situação 3 representa a soma das situações 1 e 2, seu resultado, conseqüentemente, será a soma dos demais cenários. Portanto, a análise se concentrará apenas nos cenários 1 e 2.

Para a maioria das regiões essas variações seriam negativas nos três cenários. O Brasil seria o maior beneficiado com impactos positivos em todas as situações, sendo que o melhor resultado acontece sob o Cenário 1, com uma variação de 0,0049%. Esse resultado demonstra que o aumento da demanda mundial de etanol que, conseqüentemente, aumentaria as exportações de etanol do Brasil influenciaria de forma positiva o Produto Interno Bruto (PIB). Nessa situação também apresentariam ganhos no PIB, Japão, Coreia do Sul e França.

Tabela 15 – Variação % do PIB

	Regiões	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	China	-0,0014	-0,0003	-0,0016
2	Japão	0,0030	-0,0006	0,0024
3	Coreia do Sul	0,0032	-0,0004	0,0027
4	Resto da Ásia	-0,0007	0,0003	-0,0003
5	Estados Unidos	-0,0229	0,0000	-0,0225
6	Resto da América do Norte	-0,0015	0,0027	0,0015
7	Brasil	0,0049	0,0012	0,0063
8	Argentina	-0,0021	-0,0001	-0,0034
9	Chile	-0,0015	-0,0006	-0,0019
10	Venezuela	-0,0072	-0,0007	-0,0077
11	Resto da América do Sul	-0,0125	-0,0034	-0,0159
12	Alemanha	-0,0017	0,0004	-0,0012
13	França	0,0017	-0,0001	0,0016
14	Itália	-0,0012	0,0000	-0,0012
15	Resto da Europa	-0,0052	0,0000	-0,0050
16	Resto do Mundo	-0,0031	0,0008	-0,0022

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

Projeta-se que os Estados Unidos e o Resto da América do Sul seriam as regiões com as maiores variações negativas no PIB. As variações seriam de $-0,0229\%$ para os

Estados Unidos e de $-0,0125\%$ no Resto da América do Sul sob o Cenário 1. A razão para isso poderia ser o fato de que o crescimento das importações de etanol do Brasil pelo Estados Unidos afetaria o PIB desse país. Ademais, esse fato poderia ter prejudicado a produção de etanol do Paraguai, que é um pequeno produtor dessa *commodity* na América do Sul, afetando assim, o resultado da sua produção interna.

Essa situação seira diferente quando se analisa o valor do PIB. Sob o Cenário 1, apenas Japão, Brasil, Argentina e Resto da Europa teriam resultados negativos e a maior variação positiva aconteceria no Resto da América do Sul, $0,0181\%$. Como dito anteriormente, a produção nessa região sofreria uma queda e com a produção menor os preços aumentam, agregando assim, valor ao PIB.

Tabela 16 – Variação % do Valor do PIB

	Regiões	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	China	0,0022	0,0007	0,0029
2	Japão	-0,0076	0,0023	-0,0050
3	Coreia do Sul	0,0012	0,0006	0,0018
4	Resto da Ásia	0,0056	-0,0002	0,0052
5	Estados Unidos	0,0123	0,0000	0,0123
6	Resto da América do Norte	0,0069	-0,0008	0,0060
7	Brasil	-0,1148	-0,0248	-0,1395
8	Argentina	-0,0266	-0,0069	-0,0274
9	Chile	0,0034	0,0002	0,0037
10	Venezuela	0,0099	-0,0007	0,0089
11	Resto da América do Sul	0,0181	0,0026	0,0208
12	Alemanha	0,0099	-0,0008	0,0087
13	França	0,0044	-0,0001	0,0042
14	Itália	0,0066	0,0000	0,0064
15	Resto da Europa	-0,0041	0,0041	0,0001
16	Resto do Mundo	0,0148	-0,0023	0,0123

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

Apesar de existir variação positiva do PIB do Brasil em termos de quantidade, seu valor iria na direção contrária. Sob os três cenários, o valor do PIB brasileiro apresentaria variação negativa, com queda maior no cenário 1 de $-0,1148\%$. Isso pode ser devido à queda nos preços, ou seja, apesar de vender mais, os produtos produzidos internamente valeriam menos, como mostrado na Tabela 17 pelo índice de preço ao consumidor (IPC).

Tabela 17 – Variação % do IPC e Renda no Brasil

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
IPC	-0,1197	-0,0260	-0,1457
Renda	-0,0009	0,0000	-0,0008

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

A maior queda no índice de preço também ocorreria no Cenário 1, em que aconteceria

o choque nas exportações de etanol do Brasil para os Estados Unidos. Os preços cairiam menos diante o Cenário 2, com uma variação de $-0,0260\%$. Esse resultado do índice de preço implicaria também na queda da renda das famílias brasileiras. A renda das famílias não seria impactada com o choque de exportações para a União Europeia. Diferentemente, nos outros cenários simulados, essa alteração da renda foi negativa, $-0,0009\%$ e $-0,0008\%$.

A produção de etanol teria uma expansão em países da América do Norte e Sul e sofreria uma grande queda na Europa, conforme mostrado na Tabela 18. Para o Brasil, o Cenário 1 apresentaria um crescimento da produção do biocombustível-2 em $1,0044\%$, sob o Cenário 2 a expansão seria de $0,23\%$.

Tabela 18 – Variação % da Produção do Biocombustível-2

	Setores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	China	-0,0002	0,0002	0,0000
2	Japão	-0,1331	-0,0326	-0,1654
3	Coreia do Sul	-0,0018	0,0001	-0,0017
4	Resto da Ásia	-0,1418	-0,0307	-0,1720
5	Estados Unidos	2607,8289	-0,0820	2503,9133
6	Resto da América do Norte	0,5633	0,1164	0,6694
7	Brasil	1,0044	0,2345	1,2389
8	Argentina	-0,1629	-0,0314	-0,2000
9	Chile	-0,1973	-0,0425	-0,2399
10	Venezuela	0,0004	0,0001	0,0005
11	Resto da América do Sul	0,1587	0,0327	0,1914
12	Alemanha	-0,0067	-0,2505	-0,2567
13	França	-0,0065	0,0013	-0,0051
14	Itália	-0,0042	0,0008	-0,0033
15	Resto da Europa	-0,1741	-234,3869	-241,3797
16	Resto do Mundo	0,6962	0,1213	0,8133

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

Nos Estados Unidos, a indústria do etanol apresentaria uma grande variação na sua produção, com o resultado de $2607,8289\%$ no Cenário 1. Esse resultado demonstra que o aumento das importações de etanol expandiria de maneira significativa a cadeia de produção dessa *commodity*. Como essa indústria ainda não é consolidada no país, uma variação positiva da demanda seria capaz de gerar muita riqueza, com a geração de empregos e lucros com a venda do produto. Situação um pouco diferente do Brasil onde a indústria do etanol já é bem desenvolvida e qualquer aumento da exportação ou da produção expandiria pouco o valor adicionado do produto.

Por outro lado, a expansão das exportações de etanol do Brasil para a União Europeia impactaria negativamente a produção desse biocombustível na região, com variação de $-234,3869\%$ no Resto da Europa. Devido às características da base de dados e das equações do GTAP, os resultados encontrados para os Estados Unidos (Cenários 1 e 3) e Resto da Europa (Cenários 2 e 3) na produção de biocombustível-2 são possíveis.

A explicação para os valores de mais de 2600% e de -234% seria de que, como na base de dados original (antes do choque) o valor da produção de etanol nessas regiões é muito pequena quando o choque é dado, essa variável sofre uma grande perturbação, resultando em números discrepantes.

Tabela 19 – Variação % da Produção em Cada Setor no Brasil

	Setores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
S1	Agricultura	0,0375	0,0092	0,0465
S2	Pecuária e produtos animais	-0,0053	-0,0011	-0,0063
S3	Extração	0,1820	0,0357	0,2168
S4	Biocombustível-1	-0,0038	-0,0006	-0,0044
S5	Alimentos e bebidas	-0,0031	-0,0004	-0,0035
S6	Textil e vestuário	-0,0338	-0,0071	-0,0409
S7	Indústria leve	-0,0429	-0,0092	-0,0523
S8	Petróleo, Carvão e Gás	0,3776	0,0751	0,4511
S9	Biocombustível-2	1,0044	0,2345	1,2389
S10	Produtos químicos	-0,0648	-0,0117	-0,0765
S11	Produtos minerais	-0,0220	-0,0052	-0,0271
S12	Produtos de metais ferrosos	-0,0518	-0,0114	-0,0632
S13	Metais	-0,0986	-0,0209	-0,1197
S14	Indústria pesada	-0,0889	-0,0195	-0,1082
S15	Eletricidade	-0,0308	-0,0063	-0,0371
S16	Construção e serviços de util. pública	-0,0123	-0,0034	-0,0155
S17	Transporte rodoviário	-0,0056	-0,0009	-0,0064
S18	Transporte marítimo	0,0229	0,0010	0,0237
S19	Transporte aéreo	-0,0458	-0,0084	-0,0540
S20	Comércio e comunicação	-0,0035	-0,0007	-0,0041
S21	Outros serviços	0,0015	0,0003	0,0018
S22	Bens de capital	-0,0156	-0,0043	-0,0196

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

A Tabela 19 mostra a variação obtida no valor adicionado em cada setor do sistema produtivo brasileiro após as simulações. Os setores de Agricultura (0,0375%), Extração (0,1820%), Petróleo, Carvão e Gás (0,3776%), Biocombustível-2 (1,0044%), Transporte Marítimo (0,0229%) e Outros Serviços (0,0015%) apresentam resultados positivos com a projeção de crescimento da exportação de etanol do Brasil, com maior variação no Cenário 1.

Os fatores primários de produção também são afetados pelo choque. Com o aumento das vendas de etanol conforme estabelecidos nos três cenários, a demanda pelos fatores primários de produção também aumentariam no Brasil, conforme mostrado na Tabela 20.

Tabela 20 – Utilização dos Fatores Primários de Produção no Setor de Biocombustível-2 no Brasil - Variação %

	Setores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
F1	Terra	0,3907	0,0907	0,4809
F2	Trabalho não qualificado	1,0047	0,2345	1,2392
F3	Trabalho qualificado	1,0141	0,2366	1,2507
F4	Capital	1,0017	0,2340	1,2356
F5	Recursos Naturais	-0,0004	0,0000	-0,0004

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

O maior impacto sobre os fatores primários aconteceria no Cenário 1, o Trabalho Qualificado e Não Qualificado sofreriam as maiores variações positivas, 1,0141% e 1,0047%, respectivamente. O capital teria variação semelhante de 1,0017% e, em menor magnitude, o fator Terra varia em 0,39%. Isso ocorre devido ao aumento do valor adicionado (Tabela 19) e a queda do preço desses fatores no setor de Biocombustível-2 em função do choque nas exportações. Uso de Recursos Naturais teria uma pequena queda de $-0,0004\%$.

Sabe-se que o Brasil possui terras em abundância em que é possível expandir a produção de etanol. Pelas Tabelas 19 e 20 pode-se observar que ocorreria crescimento da produção agrícola, principalmente, da cultura da cana-de-açúcar para a fabricação desse biocombustível em decorrência do aumento das exportações para Estados Unidos e União Europeia. Mas essa expansão do uso da terra não é grande, com variação menor que 1%.

5.1 Impactos no bem-estar econômico e sua decomposição

A variação do bem-estar no GTAP é captada pela Variação Equivalente (EV). Essa medida pode ser decomposta em quatro componentes: efeitos alocativos, efeitos tecnológicos, termos de troca e saldos de investimento-poupança (I-S).

Tabela 21 – Variação do Bem-Estar Econômico - US\$ milhões

	Regiões	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	China	-123,5237	-4,5511	-126,4133
2	Japão	64,9451	-12,5691	50,4417
3	Coreia do Sul	12,4448	-0,8782	11,2573
4	Resto da Ásia	-172,7444	40,8808	-125,9525
5	Estados Unidos	-3397,1440	14,6001	-3310,7981
6	Resto da América do Norte	-47,4990	55,3660	16,1109
7	Brasil	-19,4025	0,1562	-17,2912
8	Argentina	-5,5782	0,5059	-8,9437
9	Chile	-4,9589	-1,0650	-5,4714
10	Venezuela	-19,2749	-1,5794	-20,2338
11	Resto da América do Sul	-50,6711	-12,2665	-63,1435
12	Alemanha	-31,3736	8,3299	-21,1331
13	França	8,8235	1,9168	10,9159
14	Itália	-30,5605	3,9697	-25,5796
15	Resto da Europa	-433,8141	-11,8759	-429,4926
16	Resto do Mundo	-128,9396	25,8608	-97,8826
	Total	-4379,2710	106,8013	-4163,6098

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

A Tabela 21 mostra a projeção de ganhos e perdas de bem-estar econômico pela variação equivalente da renda nos três cenários simulados. Em termos gerais, regiões como, Resto da Ásia, Estados Unidos, Resto da América do Norte, Brasil, Argentina, Alemanha, França, Itália e Resto do Mundo teriam ganhos de bem-estar no Cenário 2. Observa-se que o Resto da América do Norte apresentaria o melhor resultado em termos absolutos, contabilizando um aumento na variação equivalente de US\$55,3660 milhões nesse cenário. O responsável por gerar os ganhos de bem-estar na maioria desses países seria o efeito tecnológico, com exceção dos Estados Unidos e da França em que os termos de troca teriam maior peso nesse resultado. Os valores da decomposição do bem-estar estão presentes na Tabela 22.

Diante dos Cenários 1 e 3 apenas Japão, Coreia do sul, Resto da América do Norte e França teriam ganhos de bem-estar com a exportação brasileira de etanol para os Estados Unidos e União Europeia. O efeito tecnológico também seria o responsável por esses resultados positivos do bem-estar.

Analisando isoladamente o Brasil, ele teria um pequeno ganho de bem-estar no Cenário 2, US\$0,1562 milhões. Esse Cenário traria maiores ganhos, pois o Brasil, seria beneficiado pela melhora tecnológica (US\$30,4531 milhões) ao aumentar as exportações de etanol para a União Europeia. Por outro lado, o país teria perdas de bem-estar ao expandir as exportações de biocombustível-2 para o Estados Unidos, com valores negativos tanto no Cenário 1 quanto no Cenário 3. A razão para esse resultado seria a perda que ocorre nos termos de troca, US\$ – 149,0968 milhões e US\$ – 181,2738 milhões, respectivamente.

Ou seja, devido à queda dos preços, as importações ficariam mais caras em relação às exportações, o que promoveria o declínio nos termos de troca.

Tabela 22 – Decomposição do Bem-Estar Econômico - *US\$* milhões¹

Cenários	Efeitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Cenário 1	Alocativo	-9,0074	-2,4203	2,4600	-0,6587	1,7712	-2,9840	-7,7884	-3,0219	-0,5614	-1,1640	-1,9219	-14,2837	-9,8463	-8,7811	-72,6389	-11,6079	-142,4548
	Tecnológico	-93,0357	181,3238	35,7237	-57,5839	-3560,5242	-49,7258	130,0182	-8,4138	-3,2631	-21,6318	-84,2183	-48,0164	56,6982	-17,7424	-593,2247	-103,0948	-4236,7112
	Termos de Troca	-3,5624	-110,3914	-25,3860	-91,2906	105,6615	8,2300	-149,0968	1,1263	-1,0031	7,3624	36,3957	46,5095	-34,7906	-4,8542	226,6104	-11,6261	-0,1054
	I-S	-17,9181	-3,5670	-0,3529	-23,2112	55,9475	-3,0191	7,4645	4,7312	-0,1312	-3,8416	-0,9265	-15,5830	-3,2378	0,8173	5,4392	-2,6107	0,0004
	Total	-123,5237	64,9451	12,4448	-172,7444	-3397,1440	-47,4990	-19,4025	-5,5782	-4,9589	-19,2749	-50,6711	-31,3736	8,8235	-30,5605	-433,8141	-128,9396	-4379,2710
Cenário 2	Alocativo	-2,3030	0,6518	-0,2191	-0,0291	1,3998	4,1315	-0,7391	-0,3000	-0,0765	-0,1263	-0,5954	5,1295	2,8525	2,0761	8,1063	2,4540	22,4130
	Tecnológico	-17,4375	-34,4435	-4,0997	28,4378	-3,6838	87,6874	30,4531	-0,1002	-1,5174	-2,1265	-22,7619	10,7252	-4,7479	-2,1955	-5,8321	26,0348	84,3925
	Termos de Troca	19,3152	20,8576	3,8113	10,1650	12,6443	-36,0132	-31,2685	-0,1390	0,6637	0,6854	11,1762	-9,3565	3,4210	3,7268	-7,5237	-2,1701	-0,0046
	I-S	-4,1258	0,3649	-0,3707	2,3073	4,2399	-0,4397	1,7108	1,0451	-0,1349	-0,0120	-0,0853	1,8318	0,3911	0,3623	-6,6264	-0,4579	0,0004
	Total	-4,5511	-12,5691	-0,8782	40,8808	14,6001	55,3660	0,1562	0,5059	-1,0650	-1,5794	-12,2665	8,3299	1,9168	3,9697	-11,8759	25,8608	106,8013
Cenário 3	Alocativo	-11,2218	-1,6730	2,2691	-0,6348	2,9101	1,7978	-8,2182	-4,2359	-0,5640	-1,2530	-2,5771	-8,4741	-6,6219	-6,4311	-62,2829	-8,6637	-115,8743
	Tecnológico	-109,3667	141,5617	30,5853	-25,9086	-3497,5708	50,9047	163,0179	-14,8550	-4,1770	-23,0424	-107,5778	-34,8953	51,0761	-19,2555	-575,9556	-72,1263	-4047,5852
	Termos de Troca	16,7026	-86,3085	-20,8067	-78,7494	122,1490	-33,0757	-181,2738	5,4834	-0,4425	7,8113	48,0317	35,6415	-30,7041	-1,0397	210,3744	-13,9453	-0,1518
	I-S	-22,5274	-3,1385	-0,7905	-20,6597	61,7135	-3,5158	9,1829	4,6637	-0,2880	-3,7498	-1,0203	-13,4053	-2,8342	1,1467	-1,6286	-3,1473	0,0014
	Total	-126,4133	50,4417	11,2573	-125,9525	-3310,7982	16,1109	-17,2912	-8,9437	-5,4714	-20,2339	-63,1435	-21,1331	10,9159	-25,5796	-429,4926	-97,8826	-4163,6098

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP

⁰ Os países estão denotados como números de 1 a 16 conforme classificação no Apêndice A.

¹ Os países estão denotados como números de 1 a 16 conforme classificação no Apêndice A.

O efeito tecnológico seria a fonte de maior ganho para o Brasil em todos os cenários. Considerando outros efeitos, observa-se que o saldo de investimento e poupança seria o segundo maior responsável pelos ganhos de bem-estar obtidos, com valor no Cenário 1 de *US\$7,4645* milhões. O sinal positivo dessa variável significa que o país seria um provedor líquido de poupança para o resto do mundo. Por outro lado, os termos de troca e os efeitos alocativos seriam afetados negativamente. A maior variação negativa do efeito alocativo ocorreria diante do Cenário 1, com um valor de *US\$ - 7,7884* milhões.

O progresso tecnológico proporcionaria ganhos de produtividade e reduções nos custos em uma determinada região e em um determinado setor influenciando os preços e as quantidades produzidas. Na Tabela 23 é possível observar que apenas as importações seriam fonte de ganho tecnológico no Brasil a partir do crescimento das exportações de etanol para as regiões dos Estados Unidos e da União Europeia. Outros efeitos tecnológicos como, produção, fatores primários, valor adicionado, insumos intermediários e transporte não proporcionariam ganhos de produtividade no país.

Tabela 23 – Fonte de Ganho Tecnológico no Brasil - *US\$* milhões

Fonte	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Importação	130,0182	30,4531	163,0179
Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.			

Os efeitos alocativos na Tabela 24 mostram que os valores seriam negativos para a maioria dos setores, com piores resultados no Cenário 1. As perdas de eficiência aconteceriam, principalmente, com o Trabalho não qualificado e nos setores de Petróleo, Carvão e Gás e Indústria Pesada. Por outro lado, o setor de Biocombustível-2 apresentaria ganhos de eficiência nos três Cenários, com maior variação no Cenário 1. Isso quer dizer que o etanol mais barato provocaria ganhos tanto no consumo quanto na forma que os recursos de produção domésticos seriam aplicados. Mas de maneira geral no Brasil, aconteceria o oposto, pois os valores do efeito alocativo seriam negativos.

Tabela 24 – Efeito Alocativo no Brasil - US\$ milhões

Setores		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
F1	Terra	0,0000	0,0000	0,0000
F2	Trabalho não qualificado	-6,1510	-1,4168	-7,5676
F3	Trabalho qualificado	-1,1751	-0,2706	-1,4457
F4	Capital	-0,8233	-0,2012	-1,0224
F5	Recursos Naturais	0,0000	0,0000	0,0000
S1	Agricultura	-0,3934	-0,0941	-0,4867
S2	Pecuária e produtos animais	-0,4815	-0,1093	-0,5850
S3	Extração	1,2844	0,2530	1,5318
S4	Biocombustível-1	0,0000	0,0000	0,0000
S5	Alimentos e bebidas	0,5264	0,1287	0,6840
S6	Têxtil e vestuário	-0,1139	-0,0200	-0,1308
S7	Indústria leve	-4,1652	-0,9241	-5,0584
S8	Petróleo, Carvão e Gás	-22,6210	-4,4122	-26,9385
S9	Biocombustível-2	39,2315	9,1592	48,3908
S10	Produtos químicos	-2,9361	-0,6210	-3,5257
S11	Produtos minerais	-0,1507	-0,0329	-0,1828
S12	Produtos de metais ferrosos	-0,2773	-0,0607	-0,3382
S13	Metais	-0,1465	-0,0310	-0,1778
S14	Indústria pesada	-6,9639	-1,6193	-8,5305
S15	Eletricidade	-1,1755	-0,2395	-1,4135
S16	Construção e serviços de util. pública	-1,2275	-0,3235	-1,5333
S17	Transporte rodoviário	-1,6336	-0,3142	-1,9381
S18	Transporte marítimo	-0,2124	-0,0302	-0,2413
S19	Transporte aéreo	-0,1699	-0,0431	-0,2118
S20	Comércio e comunicação	0,7411	0,1975	0,9567
S21	Outros serviços	1,2461	0,2860	1,5466
Total		-7,7884	-0,7391	-8,2182

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

A variação nos termos de troca são dadas pela diferença entre os índices de preço do produtos transacionados do Brasil com as demais regiões, isto é, a diferença entre o preço dos produtos exportados e importados. Observa-se pela Tabela 25 que a perda dos termos de troca no Brasil ocorreria em quase todos setores da economia, principalmente, nos setores de Indústria Leve, Agricultura, Alimentos e Bebidas, Outros Serviços, Indústria Pesada, Pecuária e produtos animais e Produtos químicos. É no Cenário 1 que existiria maior deterioração dos termos de troca.

Tabela 25 – Termos de Troca no Brasil - US\$ milhões

Setores		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
S1	Agricultura	-33,4051	-6,5408	-40,0037
S2	Pecuária e produtos animais	-17,3552	-3,4456	-20,7885
S3	Extração	41,6716	7,2710	48,6988
S4	Biocombustível-1	0,0000	0,0000	0,0000
S5	Alimentos e bebidas	-33,2657	-6,6778	-40,0237
S6	Textil e vestuário	-1,9548	-0,5048	-2,5077
S7	Indústria leve	-41,6506	-8,7230	-50,8974
S8	Petróleo, Carvão e Gás	9,5422	1,9816	11,6434
S9	Biocombustível-2	-1,1820	-0,2106	-1,4488
S10	Produtos químicos	-13,2972	-1,4218	-14,7575
S11	Produtos minerais	-1,2706	-0,2734	-1,5267
S12	Produtos de metais ferrosos	-4,3697	-0,9329	-5,3013
S13	Metais	-4,1381	-0,8397	-4,9942
S14	Indústria pesada	-18,6111	-4,2929	-22,9461
S15	Eletricidade	-0,3574	-0,0479	-0,4036
S16	Construção e serviços de util. pública	-0,2189	-0,0475	-0,2661
S17	Transporte rodoviário	-1,5751	-0,2983	-1,8695
S18	Transporte marítimo	0,0381	0,1015	0,1914
S19	Transporte aéreo	-0,1664	0,1211	-0,0931
S20	Comércio e comunicação	-2,9271	-0,7063	-3,6580
S21	Outros serviços	-24,6577	-5,7917	-30,3867
Total		-149,1505	-31,2798	-181,3391

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

Essa piora nos termos de troca em diversos setores aconteceria por conta da queda nos preços dos produtos brasileiros frente aos produtos importados. Esse resultado demonstra que as demais regiões do mundo poderiam ser beneficiadas com a queda do preço do etanol brasileiro.

Os Setores de Extração e Petróleo, Carvão e Gás e Transporte Marítimo seriam os únicos com resultados positivos nos termos de troca. Diferentemente dos demais setores, ocorreria uma elevação no preço desses produtos brasileiros frente aos produtos importados. E como Extração e Petróleo, Carvão e Gás são setores importantes na pauta comercial brasileira, esse resultado impactaria diretamente a balança comercial, conforme mostra a Tabela 26.

Tabela 26 – Variação na Balança Comercial Brasileira - US\$ milhões

Setores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Agricultura	-31,4831	-6,6843	-38,2975
Pecuária e produtos animais	-16,3895	-3,5395	-19,9323
Extração	44,7146	7,0153	51,3904
Biocombustível-1	0,0000	0,0000	0,0000
Alimentos e bebidas	-31,8654	-6,8449	-38,7891
Têxtil e vestuário	-2,3471	-0,4606	-2,8156
Indústria leve	-42,0569	-8,6729	-51,2487
Petróleo, Carvão e Gás	8,3404	2,0775	10,5745
Biocombustível-2	219,4292	51,2221	270,5502
Produtos químicos	-15,5149	-1,2458	-16,7242
Produtos minerais	-1,2959	-0,2583	-1,5537
Produtos de metais ferrosos	-3,9448	-0,9606	-4,9257
Metais	-4,0249	-0,8346	-4,8829
Indústria pesada	-21,4496	-4,0473	-25,4471
Eletricidade	-0,5236	-0,0477	-0,5640
Construção e serviços de util. pública	-0,2291	-0,0472	-0,2755
Transporte rodoviário	-1,4092	-0,2625	-1,6683
Transporte marítimo	0,3082	0,0551	0,3583
Transporte aéreo	-0,3430	0,0646	-0,2667
Comércio e comunicação	-3,0553	-0,6941	-3,7441
Outros serviços	-25,0922	-5,6907	-30,7544
Total	71,7680	20,1437	90,9834

Fonte: Valores obtidos nas simulações do GTAP.

Os setores de Extração, Petróleo, Carvão e Gás, Biocombustível-2 e Transporte marítimo contribuiriam para a variação positiva da balança comercial brasileira diante de um crescimento das exportações de etanol. O melhor cenário para a balança comercial seria o Cenário 1, situação em que ocorreria a expansão das exportações de etanol do Brasil para os Estados Unidos, com uma variação de US\$ 71,7680 milhões.

O setor de Biocombustível-2 que, apesar de apresentar piora nos termos de troca, contribuiria positivamente para a balança comercial. Ou seja, a variação das exportações dessa *commodity* em relação às importações seria de US\$ 219,4292 milhões, mesmo com a queda do seu preço e a piora nos termos de troca.

6 CONCLUSÃO

O agravamento do aquecimento global relacionado às emissões de CO_2 por uso de combustíveis fósseis e a busca de proteção contra choques no preço do petróleo fizeram com que o mundo se atentasse para o desenvolvimento de combustíveis substitutos que fossem capazes de conter o efeito estufa. É então, na década de 70, logo após o primeiro choque do petróleo, que começa produção de biocombustíveis originados de matéria orgânica, como por exemplo, o etanol da cana-de-açúcar (BIRUR et al., 2008).

O Brasil foi o pioneiro na produção de etanol, com o programa ProÁlcool, possibilitando conhecer técnicas e promover estudos para produzir de formas mais eficientes. Esse posicionamento do país possibilitou que ele se tornasse o maior consumidor e produtor até o ano de 2006, perdendo o posto para o Estados Unidos, que em 2017 é o maior produtor de etanol do milho.

O desenvolvimento dos biocombustíveis aconteceu com mais intensidade no início dos anos 2000 e desde então, as economias mais desenvolvidas lançaram mandatos de biocombustíveis que estipulam metas de produção, consumo e emissões. As principais políticas são dos Estados Unidos, que objetivam alcançar 15 bilhões de galões de etanol produzidos até 2022, e da União Europeia que estabelecem que 10% dos combustíveis usados no transporte seja de biocombustíveis.

Essas políticas podem provocar o aumento da demanda mundial por biocombustíveis, mais precisamente, a demanda por etanol. É nesse contexto que o Brasil pode desempenhar papel de destaque para suprir a demanda mundial de etanol oriunda de países como Estados Unidos e União Europeia. Primeiro, porque o Brasil possui as características naturais para expandir a produção dos principais insumos necessários em seu processo produtivo. A cana-de-açúcar, que é o principal insumo agrícola necessário para a produção do etanol, tem espaço físico e mercadológico para se desenvolver ainda mais. O Brasil ainda possui terras disponíveis para tal expansão da produção. Além disso, a produtividade da terra tem crescido no Brasil, o que indica uma tendência de uso mais eficiente dos recursos para a produção agrícola (FARIA, 2012).

Segundo, o país é o pioneiro na geração em larga escala do etanol, desenvolvendo a tecnologia desde a década de 1970, com o ProÁlcool, (FEIJÓ; ALVIM et al., 2010) o que possibilita conhecer as técnicas de produção e promover estudos para produzir de forma mais eficiente. Portanto, o objetivo do trabalho foi analisar os impactos dos mandatos de biocombustíveis na economia brasileira e de outras regiões para 2020. Assim, políticas que envolvam a promoção do setor de etanol no Brasil podem ser desenvolvidas com maior precisão.

As características do mercado e dos mandatos de biocombustíveis no Brasil, Estados Unidos e União Europeia, foram apresentados no Capítulo 2. Essa caracterização foi

necessária para conhecer os mercados, pontos fortes e fracos e quais o planejamentos para o futuro. Alinhada ao objetivo principal do trabalho, foi apresentada no Capítulo 3 a revisão de literatura com trabalhos empíricos a fim de conhecer quais são as implicações da expansão da produção e do uso de biocombustíveis no uso da terra, na economia, produção agrícola e emissão de gases estufa nas mais diversas regiões do planeta. Os principais resultados encontrados na revisão foram de que a expansão do uso dos biocombustíveis contribuem para a conversão de áreas florestais em áreas cultiváveis. Além disso, o crescimento da fabricação e uso desses combustíveis é maior sob os mandatos, ou seja, sem essas políticas os biocombustíveis teriam menos espaço no mercado.

Para atingir os objetivos da dissertação foi utilizado um modelo de EGC, o *Global Trade Analysis Project*, versão com dados de 2011, que foi modificado para receber o setor de biocombustíveis. Esse novo modelo global, denominado GTAP-BIOBR, favorece a análise de comércio do etanol da cana que tem como principal produtor o Brasil. No modelo foram agregados 16 regiões e 21 setores. A estratégia de análise foi baseada na variação entre os valores da quantidade demandada e da produção de etanol nos Estados Unidos e União Europeia. Essa variação permitiu o cálculo do choque dado nas exportações brasileiras de etanol para as duas regiões.

Foram simulados três cenários para verificar os efeitos de um aumento das exportações brasileiras de etanol. O Cenário 3 projeta os efeitos conjuntos da política então, pela característica do modelo ele representa a soma dos Cenários 1 e 2. Portanto, esse cenário não foi utilizado para analisar os impactos das exportações brasileiras.

O nível de atividade diminuiria em todas as regiões, com exceção do Brasil. Estados Unidos e Resto da América do Sul apresentariam as maiores quedas no PIB, mas obteriam os maiores ganhos no valor da produção interna. Além disso, o Cenário 1 foi o que apresentou os maiores ganhos ou menores perdas no valor adicionado da produção do Biocombustível-2 para grande parte das regiões. Avaliando isoladamente o Brasil, a atividade econômica medida pelo PIB, o nível de produção total e de biocombustível-2, a demanda pelos fatores de produção e a balança comercial teriam ganhos nos três cenários. Sendo que os maiores ganhos ocorreriam no Cenário 1 em que o Brasil aumenta suas vendas de etanol para os Estados Unidos.

Por outro lado, o índice de preço da economia e o valor do PIB tem variações negativas nos três cenários, com perdas maiores no Cenário 1. Já a renda das famílias não muda sob no Cenário 2. Essas variáveis macroeconômicas estão relacionadas, ou seja, com a expansão da produção de etanol (expansão da oferta) para atender ao aumento da demanda, o preço dessa *commodity* sofre uma queda se tornando mais barato. Com o produto mais barato, vende-se mais aumentando a atividade econômica, mas como o etanol está com preço menor, o valor das mercadorias transacionadas decresce afetando também a renda das famílias.

Diante dos cenários simulados, a produção setorial apresenta ganhos em apenas sete setores: Agricultura, Extração, Petróleo, Carvão e Gás, Biocombustível-2, Transporte Marítimo e Outros Serviços. E mais uma vez o melhor resultado é obtido no Cenário 1. Quanto ao uso dos fatores primários, a maior variação acontece nos fatores trabalho (qualificado e não qualificado) e capital. A demanda pelo fator terra tem magnitude menor indicando que o aumento da produção de etanol aumenta menos que proporcionalmente a utilização de terras para cultivo da cana-de-açúcar destinada à geração desse combustível.

Para o Brasil, de forma geral, ao analisar os dados macroeconômicos e setoriais é possível concluir que a melhor estratégia para obter ganhos na economia, isto é, crescimento do PIB, seria expandir as exportações para os Estados Unidos. Ou seja, os Estados Unidos representam um mercado em potencial para etanol da cana devido ao consumo crescente de biocombustível. Diferentemente, na União Europeia o consumo de etanol é relativamente pequeno. Porém, com a possibilidade de expandir as exportações de etanol para diversas regiões do planeta (Cenário 3), o país obteria ganhos econômicos maiores.

Na análise do bem-estar, o melhor cenário para as diversas regiões do globo seria o Cenário 2. O efeito tecnológico seria o responsável pelos ganhos de bem-estar na maioria desses países, com exceção dos Estados Unidos e França em que os termos de troca teriam maior influência no resultado. Analisando isoladamente o Brasil, ocorreria um pequeno ganho de bem-estar apenas no Cenário 2, gerados principalmente, pelos efeitos tecnológicos. Porém, na decomposição desse efeito é possível observar que esse ganho de produtividade é proveniente das importações realizadas.

Nos Cenários 1 e 3 aconteceriam as maiores perdas de bem-estar causados, sobretudo, pela piora dos termos de troca. Esse resultado acontece devido à queda nos preços dos produtos domésticos, portanto, as importações ficariam mais caras em relação às exportações. Essa situação ocorreria na maioria dos setores com pior resultado no Cenário 3. Caso semelhante ao que aconteceria nos efeitos alocativos.

Então, para o Brasil a melhor estratégia para o ganho de bem-estar seria expandir a exportação de etanol somente para a União Europeia. Esse é o único cenário que o país apresentaria ganhos de bem-estar econômico. Já no Cenário 1 que projeta os melhores resultados macroeconômicos, apresenta as piores respostas para o bem-estar por conta da piora dos termos de troca.

Diante do exposto, O Brasil enfrentaria um *trade-off* entre crescimento e bem-estar econômico. Se o formulador de política objetiva o crescimento econômico, ele deve incentivar as exportações de etanol para os Estados Unidos. Por outro lado, se esse formulador pretende obter o bem-estar econômico, ele deve incentivar as exportações do biocombustível para a União Europeia.

Assim, foi possível observar as implicações do aumento da demanda dos Estados

Unidos e União Europeia na economia brasileira a partir de simulações para o ano de 2020. Os resultados corroboram de certa forma com aqueles existentes na literatura, confirmando a conclusão obtida por Nuñez, Önal e Khanna (2013) de que o aumento da produção de etanol proporcionada pelas políticas de biocombustíveis aumentam as exportações brasileiras. Mas a redução do preço de etanol como encontrado no trabalho vai de encontro com o resultado de Oladosu (2012), que observou que o preço do combustíveis fósseis reduziriam enquanto que o preço do biocombustíveis aumentasse.

Apesar dos resultados alcançados no trabalho, extensões poderiam ser implementadas. Um delas seria um novo cálculo e substituição das elasticidades de substituição constante entre os combustíveis líquidos através de metodologia semelhante à adotada por Hertel, Tyner e Birur (2010) no GTAP-E. Além disso, seria interessante implementar o módulo de uso da terra no GTAP, como o GTAP-AEZ. Nesse contexto, a abordagem da ampliação da produção de etanol no Brasil deveria avaliar os impactos sobre a produção agrícola de alimentos e o uso da terra, diferindo da abordagem empregada nessa dissertação.

Os esforços empreendidos neste trabalho abrem portas para outras investigações. Tais como, a incorporação de outros tipos de biocombustíveis, tais como, o biodiesel e o etanol 2G. Expandindo a pesquisa para biocombustíveis pouco estudados e que são desenvolvidos com tecnologias mais avançadas. Outra extensão seria mensurar o impacto sobre a economia, uso da terra e produção agrícola advinda de ganhos tecnológicos na produção da cana-de-açúcar e de etanol.

Por fim, o tema sobre biocombustíveis é vasto. Um dos esforços da pesquisa foi de mensurar os impactos do aumento da demanda de biocombustíveis nos Estados Unidos e União Europeia sobre a economia brasileira. Isso foi possível por conta da criação de um modelo que desenha as relações entre o setor de Biocombustível-2 e os demais setores da economia, além das relações de exportação e exportação de etanol no Brasil. Tal estratégia possibilitou mensurar com mais precisão as consequências da crescente demanda mundial de etanol sobre a economia brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. How to design policies and institutions to make small-scale farmers benefit from bioenergy development. In: *Preparatory Study for the FAO High Level Conference on Climate Change, Bioenergy and Food Security*. [S.l.: s.n.], 2008.
- AL-RIFFAI, P. et al. *Global trade and environmental impact study of the EU biofuels mandate*. [S.l.]: IFPRI Washington, DC, 2010. v. 125.
- ANP. *Biocombustíveis*. 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis>.
- ARNDT, C.; BENFICA, R.; THURLOW, J. Gender implications of biofuels expansion in africa: the case of mozambique. *World Development*, Elsevier, v. 39, n. 9, p. 1649–1662, 2011.
- BANSE, M. et al. Will eu biofuel policies affect global agricultural markets? *European Review of Agricultural Economics*, Oxford Univ Press, v. 35, n. 2, p. 117–141, 2008.
- BANSE, M.; SORDA, G. et al. Impact of different biofuel policy options on agricultural production and land use in germany. In: *Contributed paper at the GeWiSoLa Conference*. [S.l.: s.n.], 2009.
- BASTOS, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 25, p. 5–38, 2007.
- BIRUR, D. et al. *Impact of biofuel production on world agricultural markets: a computable general equilibrium analysis*. [S.l.], 2008.
- BIRUR, D. K.; HERTEL, T. W.; TYNER, W. E. The biofuels boom: implications for world food markets. *The Food Economy Global Issues and Challenges*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 61–75, 2009.
- BOUËT, A. et al. *Modeling the global trade and environmental impacts of biofuel policies*. [S.l.], 2010.
- BRASIL. *RenovaBio - Diretrizes Estratégicas*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>, 2016.
- BRITZ, W.; HERTEL, T. W. Impacts of eu biofuels directives on global markets and eu environmental quality: An integrated pe, global cge analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Elsevier, v. 142, n. 1, p. 102–109, 2011.
- BURFISHER, M. Introduction to computable general equilibrium models. *Cambridge Books*, Cambridge University Press, 2011.
- CARRIQUIRY, M. et al. Comparing the trends and strength of determinants to deforestation in the brazilian amazon in consideration of biofuel policies in brazil and the united states. In: AGRICULTURAL AND APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION. *2016 Annual Meeting, July 31-August 2, 2016, Boston, Massachusetts*. [S.l.], 2016.
- CHAKRAVORTY, U. et al. The long run impact of biofuels on food prices. *The Scandinavian Journal of Economics*, Wiley Online Library, 2016.

- CONDON, N.; KLEMICK, H.; WOLVERTON, A. Impacts of ethanol policy on corn prices: A review and meta-analysis of recent evidence. *Food Policy*, Elsevier, v. 51, p. 63–73, 2015.
- DIXON, P. B. *Orani, a multisectoral model of the Australian economy*. [S.l.]: North Holland, 1982. v. 142.
- DOMINGUES, E. P. et al. Repercussões setoriais e regionais da crise econômica de 2009 no brasil: simulações em um modelo de equilíbrio geral computável de dinâmica recursiva. 2010.
- ELIZONDO, A.; BOYD, R. Economic impact of ethanol promotion in mexico: A general equilibrium analysis. *Energy Policy*, Elsevier, v. 101, p. 293–301, 2017.
- EUROPEIA, C. Directiva 2009/28/ce do parlamento europeu e do conselho de 23 de abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as directivas 2001/77/ce e 2003/30/ce. *Jornal Oficial da União Europeia*, v. 5, 2009.
- FARIA, W. *Modelagem e avaliação de fenômenos relacionados ao uso da terra no Brasil. 2012*. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Ciências Econômicas)—Departamento de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- FEIJÓ, F. T.; ALVIM, A. M. et al. Impactos econômicos para o brasil de um choque tecnológico na produção de etanol. *Economia, Brasília*, v. 11, n. 3, p. 691–710, 2010.
- FILHO, J. B. de S. F.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in brazil. *Land Use Policy*, Elsevier, v. 36, p. 595–604, 2014.
- GOHIN, A. Assessing the land use changes and greenhouse gas emissions of biofuels: elucidating the crop yield effects. *Land Economics*, University of Wisconsin Press, v. 90, n. 4, p. 575–586, 2014.
- GOLUB, A. et al. Global land use impacts of us ethanol: static vs. dynamic economic modeling. In: *2014 Annual Meeting, July 27–29, 2014, Minneapolis, Minnesota*. [S.l.: s.n.], 2014.
- GUILHOTO, J. et al. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: Aplicação e análise de indicadores econômicos para o brasil em 2005 (using data from the system of national accounts to estimate input-output matrices: An application using brazilian data for 2005). 2010.
- GUNATILAKE, H.; ROLAND-HOLST, D.; SUGIYARTO, G. Energy security for india: Biofuels, energy efficiency and food productivity. *Energy Policy*, Elsevier, v. 65, p. 761–767, 2014.
- GURGEL, A.; REILLY, J.; SERGEY, P. Potential land use implications of a global biofuels industry. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, De Gruyter, v. 5, n. 2, p. 1–36, 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*, SciELO Brasil, v. 49, n. 1, p. 181–213, 2011.

HADDAD, E. A. *Retornos crescentes, custo de transporte e crescimento regional*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2004.

HERTEL, T. W. *Global trade analysis: modeling and applications*. [S.l.]: Cambridge university press, 1997.

HERTEL, T. W.; BALDOS, U. L. C. Biofuels as a driver of long run land use change. In: *Global Change and the Challenges of Sustainably Feeding a Growing Planet*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 99–114.

HERTEL, T. W.; TYNER, W. E.; BIRUR, D. K. The global impacts of biofuel mandates. *The Energy Journal*, JSTOR, p. 75–100, 2010.

HORRIDGE, M. Gtapagg data aggregation program. In: G., B. N.; AGUIAR, A.; MCDOUGALL, R. (Ed.). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 9 Data Base*. Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN: [s.n.], 2015. center for global trade analysis 5. Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4822>.

HUANG, J. et al. Biofuels and the poor: Global impact pathways of biofuels on agricultural markets. *Food Policy*, Elsevier, v. 37, n. 4, p. 439–451, 2012.

JAVIDA, R. J.; SALARI, M. The effect of biodiesel production in the unites states on the co2 emissions and oilseeds harvest. *SCIREA Journal of Science and Technology of Energy Sources*, v. 1, n. 2, 2016.

JOHANSEN, L. *A multi-sectoral study of economic growth*. [S.l.]: JSTOR, 1960. v. 82.

KAVALLARI, A.; SMEETS, E.; TABEAU, A. Land use changes from eu biofuel use: a sensitivity analysis. *Operational Research*, Springer, v. 14, n. 2, p. 261–281, 2014.

LABORDE, D.; VALIN, H. Assessing the eu biofuel land use change effects: estimates with the mirage-biof model and uncertainty. *Purdue University, GTAP Resource Paper*, v. 5395, 2011.

LAMOUNIER, W. M. et al. Análise do trade-off na produção de açúcar e álcool nas usinas da região centro-sul do brasil. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRACAO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER). *44th Congress, July 23-27, 2006, Fortaleza, CearÁj, Brazil*. [S.l.], 2006.

LANGVELD, J. W. et al. Analyzing the effect of biofuel expansion on land use in major producing countries: evidence of increased multiple cropping. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Wiley Online Library, v. 8, n. 1, p. 49–58, 2014.

LARK, T. J.; SALMON, J. M.; GIBBS, H. K. Cropland expansion outpaces agricultural and biofuel policies in the united states. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 10, n. 4, p. 044003, 2015.

MAGALHÃES, A. *Economia de baixo carbono no Brasil: Alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa*. 2013. 290 f. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado)–Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

- MARKANDYA, A. et al. *The role of flexible biofuel policies in meeting biofuel mandates*. [S.l.], 2016.
- MILANEZ, A. Y. et al. O acordo de paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da plataforma para o biofuturo. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 45, 2017.
- NARAYANAN, B. G.; AGUIAR, A.; MCDOUGALL, R. Global trade, assistance and production: The gtap9 database. *Center for global trade analysis*, Purdue University, 2015.
- NARDY, V.; GURGEL, A. C. Impactos da liberalização do comércio de etanol entre brasil e estados unidos sobre o uso da terra e emissão de co2. *Nova Economia*, SciELO Brasil, v. 23, n. 3, p. 693–726, 2013.
- NASS, L. L.; PEREIRA, P. A. A.; ELLIS, D. Biofuels in brazil: an overview. *Crop science*, Crop Science Society of America, v. 47, n. 6, p. 2228–2237, 2007.
- NUÑEZ, H. M.; ÖNAL, H.; KHANNA, M. Land use and economic effects of alternative biofuel policies in brazil and the united states. *Agricultural Economics*, Wiley Online Library, v. 44, n. 4-5, p. 487–499, 2013.
- OLADOSU, G. The role of modeling assumptions and policy instruments in evaluating the global implications of us biofuel policies. In: . [S.l.: s.n.], 2010.
- OLADOSU, G. Estimates of the global indirect energy-use emission impacts of usa biofuel policy. *Applied energy*, Elsevier, v. 99, p. 85–96, 2012.
- OLIVEIRA, F. C.; SUAREZ, P. A.; SANTOS, W. d. Biodiesel: possibilidades e desafios. *Química Nova na Escola*, v. 28, p. 3–8, 2008.
- PENA-LEVANO, L. M. et al. Interaction of biofuel, food security, indirect land use change and greenhouse mitigation policies in the european union. In: AGRICULTURAL AND APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION. *2016 Annual Meeting, July 31-August 2, 2016, Boston, Massachusetts*. [S.l.], 2016.
- PEZZO, C. R.; AMARAL, W. A. N. do. O papel do brasil no estabelecimento do mercado internacional de biocombustíveis. *Revista USP*, n. 75, p. 18–31, 2007.
- POMPELLI, M. F. et al. Crise energética mundial e o papel do brasil na problemática de biocombustíveis. *Agronomía Colombiana*, Universidad Nacional de Colombia, v. 29, n. 2, p. 231, 2011.
- RASETTI, M. et al. Economic and environmental effects of the european biofuel policy. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF AGRICULTURAL ECONOMISTS. *2015 Conference, August 9-14, 2015, Milan, Italy*. [S.l.], 2015.
- ROSEGRANT, M. W. et al. Global scenarios for biofuels: Impacts and implications. *Review of Agricultural Economics*, JSTOR, v. 30, n. 3, p. 495–505, 2008.
- SANTOS, G. F. d. *Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira*. [S.l.]: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. 173–188 p.
- SA, S. A. D.; PALMER, C.; FALCO, S. D. Dynamics of indirect land-use change: empirical evidence from brazil. *Journal of Environmental Economics and Management*, Elsevier, v. 65, n. 3, p. 377–393, 2013.

- SORDA, G. et al. *The Impact of Domestic and Global Biofuel Mandates on the German Agricultural Sector*. [S.l.], 2009.
- TAHERIPOUR, F. et al. Introducing liquid biofuels into the gtap database. *GTAP Research Memorandum*. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2007.
- TAHERIPOUR, F. et al. Biofuels and their by-products: global economic and environmental implications. *Biomass and bioenergy*, Elsevier, v. 34, n. 3, p. 278–289, 2010.
- TIMILSINA, G. R. Economic impacts of biofuels. In: *The Impacts of Biofuels on the Economy, Environment, and Poverty*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 65–77.
- TIMILSINA, G. R. et al. The impacts of biofuels targets on land-use change and food supply: A global cge assessment. *Agricultural Economics*, Wiley Online Library, v. 43, n. 3, p. 315–332, 2012.
- TIMILSINA, G. R.; MEVEL, S. Biofuels and climate change mitigation: a cge analysis incorporating land-use change. *Environmental and Resource Economics*, Springer, v. 55, n. 1, p. 1–19, 2013.
- TIMILSINA, G. R.; SHRESTHA, A. An overview of global markets and policies. In: *The Impacts of Biofuels on the Economy, Environment, and Poverty*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 1–14.
- TYNER, W. E. et al. Land use changes and consequent co2 emissions due to us corn ethanol production: A comprehensive analysis. *Department of Agricultural Economics, Purdue University*, Citeseer, 2010.
- USDA. *EU Biofuels Annual 2016*. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov/>, 2016.
- USDA. *EU Biofuels Annual 2017*. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov/>, 2017.
- VALLADARES, L. M. Efeitos econômicos da expansão da oferta de petróleo e gás natural provenientes do pré-sal brasileiro. UFMG, 2013.
- WILKINSON, J.; HERRERA, S. Biofuels in brazil: debates and impacts. *The Journal of Peasant Studies*, Taylor & Francis, v. 37, n. 4, p. 749–768, 2010.
- WING, I. S. Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis. *Technical Note, Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT*, 2004.
- YANG, J. et al. The role of cultivated land expansion on the impacts to global agricultural markets from biofuels. *Energy Procedia*, Elsevier, v. 61, p. 999–1011, 2014.

APÊNDICE A – VARIÁVEIS DO FECHAMENTO DO MODELO

Variável	Descrição
pop	população regional
psaveslack	variável slack para a equação de preço da poupança
pfactwld	índice de preço mundial para os fatores primários
profitslack	variável slack para a equação de lucro
incomeslack	variável slack para a equação da renda regional
endwslack	variável slack para dotação de fatores (condição market clearing)
cgdslack	variável slack para qcgds (r)
tradslack	variável slack para bens comercializáveis (condição market clearing)
qxs	exportação de i da região r para a região s
atm	mudança tecnológica em m no mundo
ats	mudança tecnológica transmitida da região r
atd	transmissão de mudança tecnológica para s
aosec	mudança tecnológica na produção do setor j no mundo
aoreg	mudança tecnológica na produção da região s
avasec	mudança tecnológica do valor adicionado do setor j
avareg	mudança tecnológica do valor adicionado na região r
afcom	mudança tecnológica nos insumos intermediários em i no mundo
afsec	mudança tecnológica nos insumos intermediários em j no mundo
afreg	mudança tecnológica nos insumos intermediários na região r
afecom	mudança tecnológica nos insumos i no mundo
afesec	mudança tecnológica nos insumos do setor j no mundo
afereg	mudança tecnológica nos insumos da região r
aoall	produção aumentada pela mudança tecnológica no setor j na região r
afall	insumo intermediário i aumentado pela mudança tecnológica de j em r
afeall	fator primário i proporcionando aumentos tecnológicos no setor j na região r
au	input-neutral shift na função utilidade
dppriv	parâmetro de distribuição do consumo privado
dpgov	parâmetro de distribuição do consumo do governo
dpsave	parâmetro de distribuição da poupança
to	taxa de produção (ou renda) na região r
tp	variação na taxa de consumo privado
tm	variação na taxa de importação de i na região s
tms	variação na taxa de importação de i na região r pela região s
tx	variação no subsídio da exportação de i pela região r
txs	variação no subsídio da exportação de i da região r para s
qo(ENDW_COMM, REG)	produção da commodity i na região r

Fonte: Elaboração própria a partir da descrição das variáveis no núcleo do modelo.

APÊNDICE B – REGIÕES NO GTAP-BIOBR

Regiões no GTAP			Agregação Utilizada	
1	aus	Australia	16	Resto do Mundo
2	nzl	New Zealand	16	Resto do Mundo
3	xoc	Rest of Oceania	16	Resto do Mundo
4	chn	China	1	China
5	hkg	Hong Kong	4	Resto da Ásia
6	jpn	Japan	2	Japão
7	kor	Korea	3	Coreia do Sul
8	mng	Mognolia	4	Resto da Ásia
9	twm	Taiwan	4	Resto da Ásia
10	xea	Rest of East Asia	4	Resto da Ásia
11	brn	Brunei Darassalam	4	Resto da Ásia
12	khm	Cambodia	4	Resto da Ásia
13	idn	Indonesia	4	Resto da Ásia
14	lao	Lao People's Democratic Republ	4	Resto da Ásia
15	mys	Malaysia	4	Resto da Ásia
16	phl	Philippines	4	Resto da Ásia
17	sgp	Singapore	4	Resto da Ásia
18	tha	Thailand	4	Resto da Ásia
19	vnm	Viet Nam	4	Resto da Ásia
20	xse	Rest of Southeast Asia	4	Resto da Ásia
21	bgd	Bangladesh	4	Resto da Ásia
22	ind	India	4	Resto da Ásia
23	npl	Nepal	4	Resto da Ásia
24	pak	Pakistan	4	Resto da Ásia
25	lka	Sri Lanka	4	Resto da Ásia
26	xsa	Rest of South Asia	4	Resto da Ásia
27	can	Canada	6	Resto da América do Norte
28	usa	United States of America	5	Estados Unidos
29	mex	Mexico	6	Resto da América do Norte
30	xna	Rest of North America	6	Resto da América do Norte
31	arg	Argentina	8	Argentina
32	bol	Bolivia	11	Resto da América do Sul
33	bra	Brazil	7	Brasil
34	chl	Chile	9	Chile

continua

continuação

35	col	Colombia	11	Resto da América do Sul
36	ecu	Ecuador	11	Resto da América do Sul
37	pry	Paraguay	11	Resto da América do Sul
38	per	Peru	11	Resto da América do Sul
39	ury	Uruguay	11	Resto da América do Sul
40	ven	Venezuela	10	Venezuela
41	xsm	Rest of South America	11	Resto da América do Sul
42	cri	Costa Rica	16	Resto do Mundo
43	gtm	Guatemala	16	Resto do Mundo
44	hnd	Honduras	16	Resto do Mundo
45	nic	Nicaragua	16	Resto do Mundo
46	pan	Panama	16	Resto do Mundo
47	slv	El Salvador	16	Resto do Mundo
48	xca	Rest of Central America	16	Resto do Mundo
49	dom	Dominican Republic	16	Resto do Mundo
50	jam	Jamaica	16	Resto do Mundo
51	pri	Puerto Rico	16	Resto do Mundo
52	tto	Trinidad and Tobago	16	Resto do Mundo
53	xcb	Caribbean	16	Resto do Mundo
54	aut	Austria	15	Resto da Europa
55	bel	Belgium	15	Resto da Europa
56	cyp	Cyprus	15	Resto da Europa
57	cze	Czech Republic	15	Resto da Europa
58	dnk	Denmark	15	Resto da Europa
59	est	Estonia	15	Resto da Europa
60	fin	Finland	15	Resto da Europa
61	fra	France	13	França
62	deu	Germany	12	Alemanha
63	grc	Greece	15	Resto da Europa
64	Hun	Hungary	15	Resto da Europa
65	irl	Ireland	15	Resto da Europa
66	ita	Italy	14	Itália
67	lva	Latvia	15	Resto da Europa
68	ltu	Lithuania	15	Resto da Europa
69	lux	Luxembourg	15	Resto da Europa
70	mlt	Malta	15	Resto da Europa

continua

continuação

71	nld	Netherlands	15	Resto da Europa
72	pol	Poland	15	Resto da Europa
73	prt	Portugal	15	Resto da Europa
74	svk	Slovakia	15	Resto da Europa
75	svn	Slovenia	15	Resto da Europa
76	esp	Spain	15	Resto da Europa
77	swe	Sweden	15	Resto da Europa
78	gbr	United Kingdom	15	Resto da Europa
79	che	Switzerland	15	Resto da Europa
80	nor	Norway	15	Resto da Europa
81	xef	Rest of EFTA	15	Resto da Europa
82	alb	Albania	15	Resto da Europa
83	bgr	Bulgaria	15	Resto da Europa
84	blr	Belarus	15	Resto da Europa
85	hrv	Croatia	15	Resto da Europa
86	rou	Romania	15	Resto da Europa
87	rus	Russian Federation	15	Resto da Europa
88	ukr	Ukraine	15	Resto da Europa
89	xee	Rest of Eastern Europe	15	Resto da Europa
90	xer	Rest of Europe	15	Resto da Europa
91	kaz	Kazakhstan	4	Resto da Ásia
92	kgz	Kyrgyzstan	4	Resto da Ásia
93	xsu	Rest of Former Soviet Union	4	Resto da Ásia
94	arm	Armenia	4	Resto da Ásia
95	aze	Azerbaijan	4	Resto da Ásia
96	geo	Georgia	4	Resto da Ásia
97	bhr	Bahrain	4	Resto da Ásia
98	irn	Iran Islamic Republic of	4	Resto da Ásia
99	isr	Israel	4	Resto da Ásia
100	jor	Jordan	4	Resto da Ásia
101	kwt	Kuwait	4	Resto da Ásia
102	omn	Oman	4	Resto da Ásia
103	gat	Qatar	4	Resto da Ásia
104	sau	Saudi Arabia	4	Resto da Ásia
105	tur	Turkey	4	Resto da Ásia
106	are	United Arab Emirates	4	Resto da Ásia

continua

continuação

107	xws	Rest of Western Asia	4	Resto da Ásia
108	egy	Egypt	16	Resto do Mundo
109	mar	Morocco	16	Resto do Mundo
110	tun	Tunisia	16	Resto do Mundo
111	xnf	Rest of North Africa	16	Resto do Mundo
112	ben	Benin	16	Resto do Mundo
113	bfa	Burkina Faso	16	Resto do Mundo
114	cmr	Cameroon	16	Resto do Mundo
115	civ	Cote d'Ivoire	16	Resto do Mundo
116	gha	Ghana	16	Resto do Mundo
117	gin	Guinea	16	Resto do Mundo
118	nga	Nigeria	16	Resto do Mundo
119	sen	Senegal	16	Resto do Mundo
120	tgo	Togo	16	Resto do Mundo
121	xwf	Rest of Western Africa	16	Resto do Mundo
122	xcf	Central Africa	16	Resto do Mundo
123	xac	South Central Africa	16	Resto do Mundo
124	eth	Ethiopia	16	Resto do Mundo
125	ken	Kenya	16	Resto do Mundo
126	mdg	Madagascar	16	Resto do Mundo
127	mwi	Malawi	16	Resto do Mundo
128	mus	Mauritius	16	Resto do Mundo
129	moz	Mozambique	16	Resto do Mundo
130	rwa	Rwanda	16	Resto do Mundo
131	tza	Tanzania	16	Resto do Mundo
132	uga	Uganda	16	Resto do Mundo
133	zmb	Zambia	16	Resto do Mundo
134	zwe	Zimbabwe	16	Resto do Mundo
135	xec	Rest of Eastern Africa	16	Resto do Mundo
136	bwa	Botswana	16	Resto do Mundo
137	nam	Namibia	16	Resto do Mundo
138	zaf	South Africa	16	Resto do Mundo
139	xsc	Rest of South African Customs	16	Resto do Mundo
140	xtw	Rest of the World	16	Resto do Mundo

APÊNDICE C – SETORES NO GTAP-BIOBR

cod	sigla	Produtos	cod	Agregação utilizada
1	pdr	Paddy rice	1	Agricultura e produtos vegetais
2	wht	Wheat	1	Agricultura e produtos vegetais
3	gro	Cereal grains nec	1	Agricultura e produtos vegetais
4	v_f	Vegetables, fruit, nuts	1	Agricultura e produtos vegetais
5	osd	Oil seeds	1	Agricultura e produtos vegetais
6	c_b	Sugar cane, sugar beet	1	Agricultura e produtos vegetais
7	pfb	Plant-based fibers	1	Agricultura e produtos vegetais
8	ocr	Crops nec	1	Agricultura e produtos vegetais
9	ctl	Cattle,sheep,goats,horses	1	Agricultura e produtos vegetais
10	oap	Animal products nec	1	Agricultura e produtos vegetais
11	rmk	Raw milk	1	Agricultura e produtos vegetais
12	wol	Wool, silk-worm cocoons	1	Agricultura e produtos vegetais
13	frs	Forestry	3	Extração
14	fsh	Fishing	2	Pecuária e produtos animais
15	coa	Coal	8	Petróleo, Carvão e Gás
16	oil	Oil	8	Petróleo, Carvão e Gás
17	gas	Gas	8	Petróleo, Carvão e Gás
18	omn	Minerals nec	3	Extração
19	cmt	Meat: cattle, sheep, goats, horse	2	Pecuária e produtos animais

continua

continuação

20	omt	Meat products nec	2	Pecuária e produtos animais
21	vol	Vegetable oils and fats	5	Alimentos e bebidas
22	mil	Dairy products	5	Alimentos e bebidas
23	pcr	Processed rice	5	Alimentos e bebidas
24	sgr	Sugar	5	Alimentos e bebidas
25	eth1	Corn Ethanol	4	Etanol do Milho
26	ofdn	Food products nec	5	Alimentos e bebidas
27	b_t	Beverages and tobacco products	5	Alimentos e bebidas
28	tex	Textiles	6	Têxtil e vestuário
29	wap	Wearing apparel	6	Têxtil e vestuário
30	lea	Leather products	7	Indústria leve
31	lum	Wood products	7	Indústria leve
32	ppp	Paper products, publishing	7	Indústria leve
33	p_c	Petroleum, coal products	14	Indústria pesada
34	eht2	Sugar Ethanol	9	Etanol de cana-de-açúcar
35	crp	Chemical,rubber,plastic prods	10	Produtos químicos
36	nmm	Mineral products nec	11	Produtos minerais
37	i_s	Ferrous metals	12	Produtos de metais ferrosos
38	nfm	Metals nec	13	Metais
39	fmp	Metal products	7	Indústria leve
40	mvh	Motor vehicles and parts	7	Indústria leve
41	otn	Transport equipment nec	7	Indústria leve
42	ele	Electronic equipment	14	Indústria pesada
43	ome	Machinery and equipment nec	14	Indústria pesada
44	omf	Manufactures nec	7	Indústria leve
45	ely	Electricity	15	Eletricidade
46	gdt	Gas manufacture, distribution	16	Construção e serviços de util. pública
47	wtr	Water	16	Construção e serviços de util. pública
48	cns	Construction	16	Construção e serviços de util. pública
49	trd	Trade	20	Comércio e comunicação
50	otp	Transport nec	17	Transporte rodoviário

continua

continuação

51	wtp	Sea transport	18	Transporte marítimo
52	atp	Air transport	19	Transporte aéreo
53	cmn	Communication	20	Comércio e comunicação
54	ofi	Financial services nec	21	Outros serviços
55	isr	Insurance	21	Outros serviços
56	obs	Business services nec	21	Outros serviços
57	ros	Recreation and other services	21	Outros serviços
58	osg	PubAdmin/Defence/Health/Educat	21	Outros serviços
59	dwe	Dwellings	21	Outros serviços

APÊNDICE D – FATORES DE PRODUÇÃO NO GTAP-BIOBR

Land	Terra
UnSkLab	Trabalho não qualificado
SkLab	Trabalho qualificado
Capital	Capital
NatRes	Recursos Naturais
