

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA E
DESENVOLVIMENTO

Júlia Elisa Flach

**OS EFEITOS CLIMÁTICOS DO SETOR DA SOJA NO COMÉRCIO
ENTRE BRASIL E A UNIÃO EUROPEIA: UMA ABORDAGEM
ATRAVÉS DO MODELO GRAVITACIONAL**

Santa Maria, RS
2021

Júlia Elisa Flach

**OS EFEITOS CLIMÁTICOS DO SETOR DA SOJA NO COMÉRCIO ENTRE
BRASIL E A UNIÃO EUROPEIA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DO MODELO
GRAVITACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial da obtenção do título de **Mestre em Economia e Desenvolvimento**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Feistel

Santa Maria, RS
2021

Flach, Júlia Elisa

Os Efeitos Climáticos do Setor da Soja no Comércio entre Brasil e a União Europeia: Uma abordagem através do Modelo Gravitacional / Júlia Elisa Flach.- 2021.
98 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Ricardo Feistel

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, RS, 2021

1. Exportação 2. Soja 3. Emissão de carbono 4. Modelo gravitacional I. Feistel, Paulo Ricardo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

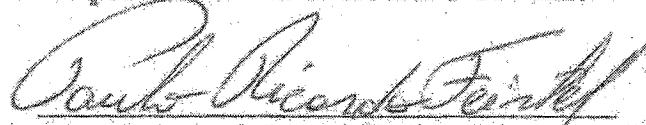
Declaro, JÚLIA ELISA FLACH, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Júlia Elisa Flach

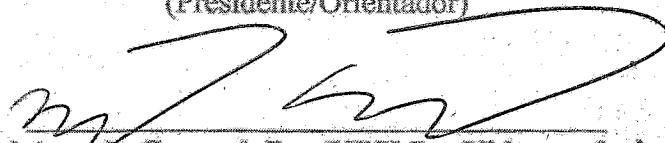
**OS EFEITOS CLIMÁTICOS DO SETOR DA SOJA NO COMÉRCIO ENTRE
BRASIL E A UNIÃO EUROPEIA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DO MODELO
GRAVITACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial da obtenção do título de Mestre em Economia e Desenvolvimento.

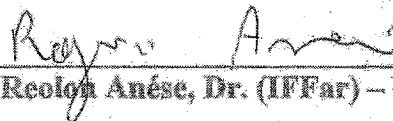
Aprovado em 11 de fevereiro de 2021:



**Paulo Ricardo Feistel, Dr. (UFSM) – Videoconferência
(Presidente/Orientador)**



Daniel Arrada Coronel, Dr. (UFSM) – Videoconferência



Rogério Luís Reolon Anése, Dr. (IFFar) – Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e, por me abençoar todos os dias, dando-me sabedoria para seguir o caminho do bem e cercar-me de pessoas maravilhosas, com as quais posso contar.

Agradeço eternamente aos meus pais, que sempre confiaram em mim e me apoiaram em todas as escolhas de vida. Pai e mãe, sei que não mediram esforços para me dar todo o suporte e incentivar de diversas maneiras, muitas vezes, abrindo mão de seus desejos pessoais para poderem me dar o melhor. Muito obrigada por tudo! E a toda minha família, que acreditou em mim, deixo meu agradecimento.

Agradeço a todos os mestres que fizeram parte desta jornada, contribuindo valorosamente com seus conhecimentos. Em especial, sou muito agradecida ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Ricardo Feistel, com o qual pude contar desde o início desta caminhada, sempre contribuindo com sua experiência, conhecimentos e compreensão ao entender meus propósitos e objetivos. Professor, você foi fundamental para que pudesse chegar até aqui.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar-me a oportunidade de cursar uma graduação e um mestrado em um local acolhedor, onde por seis anos adquiri fundamentais conhecimentos acadêmicos, essenciais para minha formação. Além disso, pude conhecer inúmeras pessoas e colecionar momentos que levarei para a vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, meu agradecimento pela receptividade, compreensão e prestatividade em melhor atender aos seus alunos. Sou grata também a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela sua assistência financeira, a qual foi essencial para eu poder cursar e concluir este curso de mestrado.

Agradeço aos colegas que participaram desta etapa, com os quais dividi as preocupações, medos e anseios. Quando podemos contar com o apoio e suporte do outro, toda carga fica mais leve e a caminhada se torna mais construtiva e produtiva.

Agradeço aos meus amigos e a todos que de uma ou de outra forma participaram e me acompanharam em mais esta etapa da minha vida, concluída com êxito.

RESUMO

OS EFEITOS CLIMÁTICOS DO SETOR DA SOJA NO COMÉRCIO ENTRE BRASIL E A UNIÃO EUROPEIA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DO MODELO GRAVITACIONAL

AUTORA: Júlia Elisa Flach
ORIENTADOR: Paulo Ricardo Feistel

Esse estudo tem por objetivo analisar se o aumento dos fluxos comerciais da soja entre Brasil e UE tem contribuído para uma maior deterioração do meio ambiente, em particular, no que se refere ao aumento das emissões de CO₂, no período de 1990 a 2017. Para isso, a metodologia escolhida no desenvolvimento do estudo foi o Modelo Gravitacional. O modelo aplicado no estudo, baseado na Equação de Bergstrand (1985), fez uso das variáveis tradicionais, como o tamanho das economias, medido através do PIB e a distância geográfica. Além disso, considerando o estudo de Folfas et al. (2011), adicionou-se ao modelo variáveis referentes às emissões de CO₂ da produção agrícola do Brasil e da UE, a taxa cambial e o índice de similaridade dos produtos das unidades em questão. Empiricamente, após a realização de testes estatísticos, o modelo foi estimado com dados em painel via Pooled, onde a variável dependente é a exportação da soja brasileira para o bloco europeu. As estimações encontradas indicam que, as emissões da produção da soja brasileira e o volume das exportações possui uma relação positiva. Ou seja, no Brasil a exploração agrícola na produção da soja ainda não chegou ao nível indicado pela Curva de Kuznets, no qual otimiza-se a produção e as emissões diminuem.

Palavras-chave: Exportação. Soja. Emissão de Carbono. Modelo gravitacional.

ABSTRACT

THE CLIMATE EFFECTS OF THE SOYBEAN SECTOR ON TRADE BETWEEN BRAZIL AND THE EUROPEAN UNION: AN APPROACH THROUGH THE GRAVITATIONAL MODEL

AUTHOR: Júlia Elisa Flach

ADVISER: Paulo Ricardo Feistel

This study is intended to analyze if the increase in soybean trade flows between Brazil and the EU has contributed to a greater deterioration of the environment. In particular, with regard to the increase in CO₂ emissions, in the period from 1990 to 2017. For therefore, the methodology chosen in the development of the study was the Gravitational Model. The model applied in the study, based on the Bergstrand Equation (1985), made use of traditional variables, such as the size of economies, measured through GDP and geographical distance. In addition, considering the study by Folfas et al. (2011), variables related to CO₂ emissions from agricultural production in Brazil and the EU, the exchange rate and the similarity index of the products in the units in question were added to the model. Empirically, after carrying out statistical tests, the model was estimated using panel data via Pooled, where the dependent variable is the export of Brazilian soybean to the European community. The estimates found indicate that the emissions from Brazilian soybean production and the volume of exports have a positive relationship. That is, in Brazil, agricultural exploitation in soybean production has not reached the level indicated by the Kuznets Curve yet, in which production is optimized and emissions are reduced.

Keywords: Exportation. Soybean. Carbon emission. Gravitational model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organograma das Regras de Decisão para o modelo a ser analisado neste estudo	62
Figura 2 - Produção de soja no Brasil, em mil toneladas	67
Figura 3 - Área plantada de grãos e soja no Brasil	68
Figura 4 - Produção de Soja por País, em mil toneladas	69
Figura 5 – Exportadores mundiais de soja – Expectativa Safra 2020/21	70
Figura 6 - Importadores Mundiais de Soja – Expectativa Safra 2020/21	71
Figura 7 – Exportações totais do Brasil para a União Europeia (UE) de 1997-2020.....	73
Figura 8 – Exportação da Soja do Brasil para a União Europeia (UE) de 1997-2020	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis do modelo e suas respectivas fontes.....	64
Tabela 2 - Resultados dos testes econométricos para escolha do Modelo	76
Tabela 3 - Testes estatísticos	76
Tabela 4 - Resultados dos Modelos	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – EXPORTAÇÕES TOTAIS DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020	92
ANEXO B – EXPORTAÇÃO DA SOJA DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020	93
ANEXO C – TESTES ECONOMÉTRICOS PRELIMINARES	94
ANEXO D – TESTES ECONOMÉTRICOS APÓS ESCOLHA DO MODELO	96
ANEXO E – <i>OUTPUTS</i> DOS MODELOS	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	COMÉRCIO INTERNACIONAL, CRESCIMENTO ECONÔMICO E O MEIO AMBIENTE	16
2.1	O COMÉRCIO E AS VANTAGENS COMPARATIVAS	16
2.2	O CRESCIMENTO ECONÔMICO E O COMÉRCIO	22
2.3	O COMÉRCIO INTERNACIONAL E O MEIO AMBIENTE	28
3	O MODELO GRAVITACIONAL TEORIA E APLICAÇÕES NO COMÉRCIO INTERNACIONAL	32
3.1	ORIGEM E USO DO MODELO GRAVITACIONAL	32
3.2	EVOLUÇÃO E FUNDAMENTOS MICROECONÔMICOS NO MODELO GRAVITACIONAL	34
3.3	APLICAÇÕES GERAIS DO MODELO	40
3.4	ABORDAGEM EMPÍRICA INTERNACIONAL E NACIONAL DO MODELO GRAVITACIONAL E MEIO AMBIENTE	41
4	METODOLOGIA	50
4.1	O MODELO GRAVITACIONAL	50
4.2	O MODELO GRAVITACIONAL EM DADOS DE PAINEL E TESTES ECONOMÉTRICOS	55
4.2.1	Dados em Painel	56
4.2.1.1	Efeitos Fixos	57
4.2.1.2	Efeitos Aleatórios	58
4.2.1.3	Método Pooled	60
4.2.2	Testes Econométricos	61
4.3	NATUREZA DOS DADOS	63
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
5.1	O BRASIL E O COMÉRCIO INTERNACIONAL AGRÍCOLA	66
5.1.1	A produção agrícola nacional e o cenário internacional	66
5.1.2	Evolução do Comércio Agrícola entre Brasil e União Europeia	71
5.2	Testes e Análises Preliminares dos Modelos Econométricos	75
5.2.1	Testes de Multicolinearidade, Heterocedasticidade e Autocorrelação no Modelo	76
5.3	Interpretação do Modelo Estimado	77
5.3.1	Análise Comparativa dos Resultados Obtidos com a Literatura	79
6	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	84
	ANEXO A – EXPORTAÇÕES TOTAIS DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020	92
	ANEXO B – EXPORTAÇÃO DA SOJA DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020	93
	ANEXO C – TESTES ECONOMÉTRICOS PRELIMINARES	94
	ANEXO D – TESTES ECONOMÉTRICOS APÓS ESCOLHA DO MODELO	96
	ANEXO E – <i>OUTPUTS</i> DOS MODELOS	97

1 INTRODUÇÃO

No final da década de 1960, dois fatores internos fizeram o Brasil começar a enxergar a soja como um produto comercial, fato que mais tarde influenciaria no cenário mundial da produção do grão. O primeiro deles, é que na época, o trigo era a principal cultura do Sul do Brasil e a soja surgia como uma opção de verão, em sucessão ao trigo. Além disso, neste momento Brasil iniciava um esforço para produção de suínos e aves, gerando demanda por farelo de soja. Em 1966, a produção comercial de soja já era uma necessidade estratégica para o Brasil (EMBRAPA, 2020), sendo produzidas cerca de 500 mil toneladas no país.

Em meados de 1970, devido à explosão do preço da *commodity* no mercado mundial, agricultores e o governo brasileiro despertaram ainda mais interesse por este cultivo. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2020), o Brasil se favorece na produção do grão pois apresenta uma vantagem competitiva em relação aos outros países produtores: o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações.

Devido à grande competitividade no mercado mundial ao longo das últimas décadas, houve diversos estímulos à produção da soja em território brasileiro. O país passou a investir em tecnologia para adaptação da cultura às condições nacionais. Esse processo foi liderado pela EMBRAPA, sendo que os investimentos em pesquisa levaram à promoção do cultivo da soja em regiões de baixas latitudes, entre o trópico de Capricórnio e a linha do Equador. Essa conquista dos cientistas brasileiros revolucionou a história mundial da soja e seu impacto começou a ser notado pelo mercado a partir do final da década de 80 e mais notoriamente na década de 90, quando os preços do grão começaram a cair (EMBRAPA, 2020).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de soja, seguido dos Estados Unidos. Na safra 2016/2017, a cultura ocupou uma área de 33,89 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 113,92 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira foi de 3,362 kg por hectare. Na safra 2018/2019, a produção do grão foi de 114,843 milhões de toneladas, sendo a área plantada de 35,822 milhões de hectares, o que representa uma produtividade de 3.206 kg/ha e o consumo interno da soja em grão, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2020), foi de 44,000 milhões de toneladas. Já a exportação do grão, segundo as Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro (AGROSTAT) (2020), somou 83,6 milhões de toneladas, representando US\$ 33,2 bilhões (2018).

No ano de 2018, as exportações desta *commodity* representaram 17% do total de US\$ 239,5 bilhões obtidos com exportações brasileiras, ou seja, US\$ 40,9 bilhões só com óleo, farelo e grãos da oleaginosa. Além disto, dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2019), mostram que estes US\$ 40 bilhões de 2018, representam um incremento de 29,6% do total vendido ao exterior em 2017 (US\$ 31,603 bilhões).

O comércio internacional na literatura é tido como um forte motor do crescimento econômico e da geração de empregos e, há décadas as nações buscam beneficiar-se através deste. Atualmente, uma das questões centrais a ser analisada quando se trata de comércio internacional é a sua capacidade de expansão. Nesta perspectiva, o potencial crescimento do comércio bilateral do Brasil com a União Europeia (UE), em virtude do eminente acordo econômico entre os blocos do Mercosul e UE, é ponto chave para a economia brasileira e suas relações comerciais exteriores.

Uma das características de principal importância para as exportações do Brasil para o bloco é o livre comércio entre os países membros da UE, que possui mais de 500 milhões de consumidores, compondo desta forma o maior mercado único do mundo (EUR-Lex, 2020). A UE também consiste no maior importador agrícola mundial. Em 2018, o bloco importou um total de US\$182 bilhões, sendo o Brasil o seu segundo maior fornecedor de produtos agrícolas (ABIOVE, 2020). Por demais, são membros do bloco econômico quatro, dos dez maiores compradores de produtos brasileiros, em receita, são eles: Holanda, Alemanha, Espanha e Itália (MDIC, 2020). Não o bastante, segundo o MDIC (2020), estes quatro países europeus estão entre os principais destinos de nove dos dez principais produtos exportados pelo Brasil, em receita: soja em grão e farelo, petróleo, minério de ferro, celulose, produtos manufaturados, carne bovina, milho e produtos semimanufaturados de ferro e aço.

De acordo com MDIC (2020), do total das exportações brasileiras para o bloco europeu, farelos de soja e outros alimentos animais representam mais de 9%, além da soja em grão ser responsável por mais 5% do valor destas exportações. Além disso, o Brasil findou o ano 2019 com sua balança comercial com UE apresentando um superávit de US\$2.550 milhões (MDIC, 2020). O bloco europeu, em 2019, importou um total de US\$35.896,2 milhões da economia brasileira, sendo importador de 16% do total das exportações do Brasil no período (MDIC, 2020). Ainda em 2019, segundo dados disponibilizados pela Associação Brasileira das Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) (2020), o total das exportações brasileiras alusivas ao complexo

de soja somaram US\$3,5 bilhões, sendo desses, US\$580 milhões referentes às exportações ao mercado europeu.

Em um mundo cada vez mais integrado, com fluxos de capitais livres, barreiras comerciais em declínio, a degradação ambiental pode ter um papel crucial na formação das vantagens comparativas dos países (KAHOULI, 2017). Desde o início dos anos 90 e, após a implementação de vários acordos multinacionais regulatórios, os debates sobre os impactos das políticas ambientais no comércio internacional, produção de tecnologia e fluxos de investimento direto estrangeiro (IDE) têm crescido cada vez mais. Uma atenção particular foi dada à questão de saber se a degradação ambiental influencia tanto os fluxos de IDE quanto o comércio internacional.

A literatura econômica aplicada fornece informações importantes sobre as interações da regulamentação ambiental e a localização internacional das atividades de produção (BALISTRERI, 2018). Contudo, as questões de poluição não podem ser avaliadas de uma única perspectiva (BU, 2016). Desde meados da década de 1980, a globalização tem sido associada a um crescimento notável no nível de preocupações populares por questões políticas, econômicas e socioculturais - incluindo poluição - em uma base global devido ao crescimento econômico acelerado, cooperação regional íntima e difusão cultural generalizada. Entre as preocupações, Rodrik e Wacziarg (2005) indicam que as instituições políticas desempenham um papel fundamental nas negociações globais e foram reconhecidas por exercer uma influência importante no crescimento econômico mundial. Esse reconhecimento atraiu mais atenção ao vínculo entre pluralismo político e liberalização e desenvolvimento econômico, o que pode ter levado ao aumento dos níveis de poluição com base em todos os vínculos.

Conforme Bu (2016), alguns pesquisadores acreditam que as diferenças nas evidências de emissões de carbono surgem, porque as emissões de carbono são uma externalidade que pode ser tratada apenas no nível global e não em nível nacional. Assim, as instituições de governança são necessárias no nível multinacional e, elas não existiam até a recente onda de globalização. Como resultado, a globalização, o crescimento econômico e o meio ambiente podem não estar necessariamente em conflito. Os problemas de poluição do ar exigem um nível adequado de renda e um mecanismo eficaz de supervisão e governança. Logo, externalidades como emissões de gases do efeito estufa (GEE) e outros poluentes do ar provavelmente são consequências da globalização. Os governos nacionais não podem abordar esses tipos de externalidades individualmente, mas apenas com um mecanismo global.

Nesse contexto, esse estudo proposto propõe a seguinte questão: o aumento do nível de comércio causa uma deterioração do meio ambiente nas regiões em análise, em particular, no Brasil? A fim de responder a esta questão central, o presente estudo tem como objetivo geral analisar se o aumento dos fluxos comerciais da soja entre Brasil e UE tem contribuído para aumentar a deterioração do meio ambiente no Brasil, especialmente, no que se refere ao aumento das emissões de CO₂, no período de 1990 a 2017. Ainda nesta perspectiva, através deste estudo, buscou-se especificamente: analisar a evolução recente da comercialização da soja do Brasil para a UE; examinar o papel da soja para a balança comercial brasileira e verificar as emissões de CO₂ pelo cultivo da soja no Brasil.

A fim de atingir tal propósito fez-se uso da abordagem econométrica do modelo gravitacional (MG). O modelo utilizado, além das variáveis tradicionais exportação, Produto Interno Bruto (PIB) das regiões da amostra, distância entre as regiões, abertura econômica e taxa de câmbio, incorporou as emissões de CO₂ do Brasil e da UE na produção da *commodity* agrícola. Os dados referentes à exportação foram obtidos através da *Food and Agriculture Organization* (FAO), bem como as emissões de CO₂ do Brasil e da UE. Informações relativas ao PIB e ao PIB *per capita*, do Brasil e da UE, foram encontradas no *World Bank*, enquanto que a distância geográfica entre as regiões foi consultada no *site* Brasil Distância. Por fim, a taxa de câmbio nominal utilizada foi coletada através do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

A contribuição deste estudo à literatura econômica se dá através do incremento na análise da *commodity* soja, em específico, analisando as exportações brasileiras para a UE, aplicando o MG aos efeitos climáticos. Entende-se que, esse estudo se justifica pelo consenso na literatura de que a possibilidade de maiores fluxos comerciais representarem uma maior deterioração ambiental, através das emissões de CO₂. Nos últimos anos, a produção e a exportação de soja no Brasil vem crescendo e hoje, o país ocupa um lugar de destaque no *ranking* de emissões de poluentes pela atividade agrícola. De acordo com Padrão et al. (2015), em 2010, o Brasil emitiu cerca de 31 mil gigagramas de poluentes em CO₂, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, que emitiram cerca de 110 mil gigagramas.

A exemplo disso, tem-se diversos autores os quais defendem a ideia da Curva Ambiental de Kuznets (CKA), o qual têm como hipótese fundamental que a degradação ambiental se expande com o crescimento econômico até que, ao atingir um dado nível renda per capita, a qualidade dos indicadores ambientais evolui, possibilitando que a relação entre a dimensão

econômica e ambiental passe a exibir um formato de “U-invertido” (GROSSMAN E KRUEGER, 1991). Ainda nesta perspectiva, estudos direcionados à economia ambiental (WANG ET AL., 1998; BERRENS ET AL., 1997; LORA ET AL., 2013), também reforçam a hipótese da CKA. Bem como, de acordo com Arrow et al. (1995) e Dinda (2004), particularmente, dois fatores decorrentes do processo de desenvolvimento capitalista podem contribuir para avanços no aspecto ambiental das economias: a expansão do comércio internacional e a globalização, que favorecem o exercício de pressão dos países desenvolvidos sobre os governantes de países em processo tardio de desenvolvimento para que execução de tais medidas sejam realizadas. Tendo em vista que são restritos os trabalhos que abordem especificamente este tema, enfocando especialmente na relação entre os fluxos comerciais de soja brasileira e emissões de CO₂ e considerando este período recente, a importância do estudo é reforçada.

A presente dissertação está estruturada, além deste capítulo introdutório, em cinco capítulos. O segundo capítulo contempla o referencial teórico. A apresentação do Modelo Gravitacional com suas teorias e aplicações está contida no capítulo três. O capítulo quatro destina-se à metodologia aplicada no estudo, além de conter a descrição algébrica do modelo estimado, bem como a metodologia econométrica utilizada. Na sequência, no capítulo cinco são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, o sexto capítulo abrange a conclusão do estudo. Após, expõe-se as referências bibliográficas consultadas.

2 COMÉRCIO INTERNACIONAL, CRESCIMENTO ECONÔMICO E O MEIO AMBIENTE

No estudo de economia, a área do comércio internacional possui uma vasta literatura conceituada, tratando dos mais diversos assuntos específicos, com variáveis de interesse selecionadas. A expansão do comércio entre nações, bem como a alocação da produção considerando as características dos países, também é uma temática bastante explorada e, consolidada através dos estudos de David Ricardo (1817), Heckscher-Ohlin (1970), Krugman (1980) e Feenstra (2004), entre outros.

Este capítulo apresenta em sua primeira seção uma exposição acerca do comércio internacional e as Vantagens Comparativas de Ricardo e de Heckscher-Ohlin. Na seção dois, tem-se uma relação entre o crescimento econômico e o comércio internacional, para nações desenvolvidas e nações em desenvolvimento. Por fim, a terceira seção expõe uma inter-relação entre o comércio internacional e o meio ambiente.

2.1 O COMÉRCIO E AS VANTAGENS COMPARATIVAS

A partir da ascensão do liberalismo econômico, começa-se a autonomizar e desenvolver a teoria do comércio internacional. Na sua origem, o liberalismo busca edificar uma teoria da especialização internacional, procurando evidenciar as vantagens que a especialização do comércio internacional, associada as condições de livre comércio, pode assegurar aos países participantes. Isso, levou a uma convergência teórica em torno da assertiva de que a especialização comercial de um país importa, tanto para o crescimento econômico como para o bem-estar social (MELICIANI, 1998).

Desde a publicação dos Princípios de Economia Política e Tributação (1817), por David Ricardo, a teoria do comércio internacional tem sido fortemente fundamentada pelo princípio das vantagens comparativas. O grande mérito de Ricardo foi o de apresentar uma teoria do comércio internacional que aparentemente solucionava os problemas apresentados pela abordagem smithiana, das vantagens absolutas, fornecendo um mecanismo automático de ajustamento do balanço de pagamentos e uma demonstração de que todos os países, independente da estrutura de custos de sua economia, ganhariam com o livre comércio. Desse modo, Ricardo tentou mostrar que mesmo quando um país fosse absolutamente menos eficiente a produzir todos os bens, continuaria a participar no comércio internacional ao produzir e exportar os bens que produzisse de forma relativamente mais eficiente.

A construção do conceito de vantagens comparativas parte da demonstração de um exemplo com apenas dois países — Portugal e Inglaterra — e somente dois bens — vinho e tecido e, recorrendo à teoria do valor-trabalho, segundo a qual a razão de troca entre mercadorias é proporcional ao tempo de trabalho social gasto na produção delas (FEENSTRA, 2004). De acordo com Ricardo (1817), a explicação de não se ter utilizado a sua teoria dos "preços naturais", talvez resida na crença de que a produtividade do trabalho é o principal determinante dos preços de equilíbrio. Ainda segundo o autor, uma alternativa seria tornar claro que, até os países sem qualquer vantagem absoluta se beneficiariam do comércio internacional.

O exemplo proposto por Ricardo (1817) sugere que, devido aos diferentes custos relativos, ambos os países têm incentivos à troca. Em suma, a especialização não se deve fazer em termos de vantagens absolutas, mas segundo as vantagens comparativas: neste caso, cada nação deve especializar-se na produção do bem para o qual possui relativamente maior vantagem ou menor desvantagem relativa. Determinado o padrão de especialização, a troca apenas se concretizará se, de fato, existirem incentivos para tal, em termos de uma Razão de Troca Internacional (RTI) que beneficie a especialização em ambos os países.

Apesar do raciocínio empregado no exemplo das vantagens comparativas exposto por Ricardo (1817) ter sido construído com base na comparação entre as quantidades de trabalho despendido na produção de cada uma das mercadorias, o exemplo também é válido se, em lugar do trabalho, se utilizar os preços de equilíbrio, ou "preços naturais", na terminologia ricardiana. Ou seja, ao contrário da teoria das vantagens absolutas, que requer a comparabilidade dos valores internacionais, a teoria das vantagens relativas se aplica conhecendo-se apenas os preços relativos. Resumidamente, para Ricardo (1817), o produto importado pelo país deveria ser comercializado a um preço ligeiramente inferior ao produto local, para assim conquistar mercado e o comércio entre países perdurar.

Desse modo, segundo a teoria das vantagens comparativas de Ricardo, o livre comércio, induzindo os parceiros comerciais a se especializarem naqueles produtos que são comparativamente mais eficientes, é benéfico para todos os países, mesmo para aqueles que são menos eficientes, em termos absolutos, na produção de todos os bens e serviços. Nesta perspectiva, modelo Ricardiano apresenta a ideia de que diferenças tecnológicas entre países importam. Um país pode ser menos eficiente do que outro na produção de todos os bens e serviços e, ainda assim, a especialização produtiva induzida pelo comércio exterior seria vantajosa para ele.

No século XX, surge uma teoria clássica centrada nas relações entre as dotações relativas de fatores de produção e padrões de comércio internacional. Teoria esta, originada a partir de um artigo do sueco Eli Heckscher (1919), traduzido somente em 1949 e, da tese de Bertil Ohlin (1933).

Historicamente, a literatura do comércio internacional preocupa-se com as transformações produtivas ocorridas através dos processos de integração dos mercados entre países. Partindo dos postulados da teoria de Heckscher-Ohlin (HO), os países tendem a produzir e exportar os bens intensivos em seus fatores mais abundantes, e a importar aqueles bens intensivos em seus fatores escassos. Assim, os fluxos comerciais podem revelar as fontes de vantagens comparativas das diferentes economias, a partir das dotações dos fatores de produção e do uso intensivo desses insumos na produção dos distintos bens.

Uma das características do modelo HO é a análise simultânea do comércio entre países. Segundo o modelo proposto por HO (FEENSTRA, 2004), a existência e a direção do comércio entre países são especificadas com base em cinco pressupostos: (i) tecnologia de produção idênticas nos países; (ii) concorrência perfeita; (iii) pleno emprego, com perfeita mobilidade de fatores de produção dentro de cada país, mas não entre eles, e flexibilidade nos retornos dos fatores; (iv) não reversão na intensidade do uso dos fatores; (v) preferências iguais para todos os indivíduos, descritas através de uma função de utilidade homotética (isto é, com elasticidade de renda igual a um).

Intuitivamente, o modelo HO de dois bens, dois fatores de produção e dois países, infere que, sob diferentes dotações relativas de fatores de produção, os preços relativos dos bens em autarquia são distintos entre economias. Isto ocorre, pois, o retorno do fator abundante em um dado país será relativamente mais barato (em relação ao outro fator), conduzindo a um custo unitário menor na produção do bem que usa intensivamente esse fator e, sob concorrência perfeita, no preço dele. Na presença do livre comércio, o bem que possui o fator abundante será exportado, por ser relativamente mais barato, em comparação ao bem no país importador, e o outro bem será importado (FEENSTRA, 2004). Nesta perspectiva, os fluxos comerciais crescerão até que os preços sejam igualados.

Para Feenstra (2004), o modelo de HO tem implicações precisas a respeito de quem ganha e quem perde com o comércio: o fator abundante em cada país ganha com o comércio e o fator escasso perde. Esse resultado decorre do padrão de variações dos preços ($pa^* > p > pa$) e do teorema de Stolper-Samuelson. Com o livre comércio, o país doméstico pode mudar a

produção para o bem trabalho-intensivo e, exportá-lo, absorvendo assim o fator abundante sem baixar seu salário. Estabelecendo que os preços dos fatores são equalizados nos dois países após o comércio. Assim, o fator abundante, cujo preço do fator foi baixo na autarquia, ganhará com a abertura do comércio, enquanto o fator escasso em cada país perderá.

Ao considerar-se um modelo mais geral, com X bens e Y fatores de produção maiores que dois, não é possível ter tamanha precisão a respeito dos fluxos comerciais dos produtos. Contudo, ainda pode-se garantir que os países tendem, na média, a exportar os bens que fazem um uso intensivo dos fatores relativamente mais abundantes do país, e tendem a importar, na média, aqueles bens que usam intensamente seus fatores escassos.

Considerando vários países, $i = 1, 2, \dots, C$; várias indústrias, $j = 1, 2, \dots, N$; e muitos fatores, indexados por $k, l = 1, \dots, M$. As tecnologias são idênticas entre os países, e essa equalização fator-preço prevalece sob livre comércio. Além disso, os gostos são idênticos e homotéticos em todos os países. A partir de então, se estabelece a matriz $(M \times N)$, como $A = [a_{jk}]'$ e que denota as quantidades de trabalho, capital, terra e outros principais fatores necessários para uma unidade de produção em cada indústria. Esta matriz se aplica em qualquer país. As linhas medem os diferentes fatores $k, l = 1, \dots, M$, enquanto as colunas medem as diferentes indústrias $j = 1, \dots, N$ (FEENSTRA, 2004).

O vetor da produção de cada indústria no país i ($N \times 1$) é representado por Y^i , e D^i denota o ($N \times 1$) vetor de demandas por cada bem, de modo que $T^i = Y^i - D^i$ se iguala ao vetor de exportações líquidas para o país i . O conteúdo do fator do comércio é então definido como $F^i = AT^i$, que é um vetor ($M \times 1$). Denota-se os componentes individuais deste vetor como F^i_k , onde um valor positivo indica que o fator é exportado, enquanto um valor negativo indica que o fator é importado.

O objetivo do modelo HOV (Heckscher-Ohlin-Vanek) é relacionar o conteúdo fatorial do comércio AT^i com as dotações subjacentes do país i . Como os preços dos produtos são equalizados entre países pelo livre comércio, os vetores de consumo de todos os países devem ser proporcionais uns aos outros. Ou seja: $D^i = s^i D^w$, onde D^w é o vetor de consumo mundial e s^i é a parte do país i no consumo mundial. Como o consumo mundial deve ser igual à produção mundial, obtém-se $AD^i = s^i AD^w = s^i AY^w = s^i V^w$, onde a última igualdade é o pleno emprego a nível mundial.

Fazendo uso dessas expressões para AY^i e AD^i , tem-se, portanto: $F^i \equiv AT^i = V^i - s^i V^w$, que é uma afirmação do Teorema de HOV. Em termos de fatores individuais, escreve-se como

$F_k^i = V_k^i - s^i V_k^w$. Se a dotação do fator k do país i relativa a dotação mundial excede a participação do país no PIB mundial ($V_k^i/V_k^w > s^i$), diz-se que o país i é abundante nesse fator. Nesse caso, se afirma que o conteúdo do fator do comércio do fator k também deveria ser positivo ($F_k^i > 0$), e inversamente caso o país i seja escasso no fator k ($V_k^i/V_k^w < s^i$).

Para Krugman (1980), supondo que dois países tenham comércio aberto entre si a zero custo de transporte, além de terem os mesmos gostos e tecnologias; já que há apenas um fator, não pode haver diferenças nas dotações do fator. Neste caso, não há nenhuma razão para que o comércio ocorra, mas, no entanto, haverá comércio e ganhos com o comércio.

De acordo com Krugman (1980), o comércio ocorrerá porque, na presença de retornos crescentes, cada bem (produto diferenciado) será produzido em apenas um país, ou em uma empresa. Os ganhos do comércio ocorrerão porque a economia mundial produzirá uma maior diversidade de bens do que qualquer país sozinho, oferecendo a cada indivíduo uma maior variedade de opções. Desse modo, o equilíbrio da economia mundial é facilmente encontrado. A simetria da situação garante que os dois países têm a mesma taxa salarial e, que o preço de qualquer bem produzido em qualquer país será o mesmo. O número de mercadorias produzidas em cada país pode ser determinado da condição de pleno emprego.

Conforme destaca Krugman (1980), é justificável, a partir deste modelo, a ideia de que os países exportam o que têm mercados domésticos correspondente. Os resultados foram alcançados, no entanto, apenas para o modelo. Trazendo para a realidade, pode-se supor que os países têm populações arbitrárias e exigem padrões, mas mantendo todas as outras suposições do modelo. Ainda assim, se chegará à conclusão de que cada país será um exportador líquido da indústria cujos bens tem uma demanda relativamente maior. A diferença é que, os salários em geral não serão iguais. Países menores com mercados absolutamente menores para os dois tipos de bens terão que compensar esta desvantagem com salários mais baixos.

Tradicionalmente, os setores baseados em recursos naturais de um país apresentam baixo potencial de crescimento, devido ao baixo conteúdo tecnológico e sua incapacidade de induzir processos de inovação e ganhos de produtividade, limitada capacidade de produzir bens de maior valor agregado e encadeamentos produtivos. Além disso, tem-se um escasso potencial para gerar externalidades positivas sobre os outros setores, bem como considerável volatilidade dos preços que pode significar maior vulnerabilidade e incerteza econômica, entre outros (SINNOTT, NASH & TORRE, 2010).

Por sua vez, as características intrínsecas ao padrão de comércio baseado em recursos naturais, obviamente, trazem à tona as debilidades da natureza técnico-produtiva. Pelo menos, este é o ponto de vista da literatura que compreende os benefícios do desenvolvimento econômico não distribuídos de forma equitativa entre os países, deixando claro o desequilíbrio dos frutos do comércio internacional (SILVA, 2015). Explicitamente, o pensamento cepalino vê com preocupação a abundância de recursos naturais em um país. De outro lado, amadurece um debate na literatura pautado na virtuosidade dos recursos naturais.

De acordo com estudos da CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina), as importações de produtos primários tendem a crescer menos que proporcionalmente que a renda real (elasticidade-renda da demanda por produtos primários menor que 1), ao passo que a elasticidade-renda de produtos industrializados é maior do que 1, à medida que a renda aumenta, aumenta a demanda por esses produtos (MOREIRA, 2012). Isto tem fortes implicações para os países emergentes, como os países da América Latina, que tem sua pauta de exportações baseada em produtos primários e sua pauta de importações baseada em produtos industrializados. Deste ponto, conclui-se que as exportações dos países periféricos se mostravam insuficientes para suprir as necessidades de importações, as quais vinham crescendo cada vez mais (PREBISCH, 1949).

Entretanto, a literatura oferece, independente do seu posicionamento quanto aos benefícios de uma especialização em recursos naturais, o caráter histórico das transformações no setor produtivo dos países. De acordo com López (2011), em grande medida, os frutos colhidos da região mediante a exportação de bens primários são resultados de processos de transformações iniciados vários anos atrás.

Os benefícios econômicos advindos do choque positivo dos termos de troca, podem ser favoráveis ao bem-estar e às mudanças na estrutura de produção podem ser consideradas uma adaptação às novas condições de demanda internacional (SILVA, 2015). Essas mudanças podem, contudo, ser consideradas uma doença, caso a estagnação e a retração impactem negativamente setores produtivos que detêm características especiais que estimulam o crescimento da economia no longo prazo. Dentre essas características sobressaem aquelas associadas à produção manufatureira: os retornos crescentes à escala; os processos de aprendizado e as externalidades tecnológicas positivas (MARKWALD e RIBEIRO, 2011).

Sendo assim, para que a especialização em recursos naturais não se configure em uma “maldição” para a economia de um país, ao menos três condições devem ser satisfeitas (SILVA,

2015): (i) os setores baseados em recursos naturais não devem ter baixo potencial de crescimento, devido a um baixo conteúdo tecnológico e capacidade de induzir inovação e ganhos de produtividade; não possuem limitada capacidade de agregar valor aos produtos e promover encadeamentos produtivos e gerar externalidade positivas para outros setores; (ii) a capacidade de geração de emprego não deve ser baixa devido à reduzida capacidade de absorver o emprego direto e indireto; (iii) e os setores baseados em recursos naturais devem apresentar menor tendência secular a deterioração dos termos de troca.

Desta forma, através de estudos empíricos, pode-se perceber que o debate acerca da relação entre padrão de comércio baseado em recursos naturais, bem como suas causas e implicações ainda permanece aberto e sem consenso (SILVA, 2015). Mesmo que historicamente, se possam tirar algumas lições da relação entre o desempenho macroeconômico dos países e a estratégia de inserção na economia mundial, de acordo com Silva (2015), a superação deste debate está longe de acontecer.

2.2 O CRESCIMENTO ECONÔMICO E O COMÉRCIO

A partir das hipóteses fundamentais da ortodoxia clássica e neoclássicas – concorrência perfeita, pleno emprego, funções de produção estáveis e iguais entre empresas/países e retornos constantes de escala – os padrões de especialização relativa de cada país conformam-se através de ajustamentos em preços e quantidades, sem alterar o nível setorial ou global de utilização de recursos, ou seja, sem alterar o nível da renda (MOREIRA, 2012). Assim, pode-se aferir que o comércio internacional interfere na alocação intersetorial de recursos, quantidades e preços, sem afetar o nível da atividade econômica, acarretando ganhos de comércio para todos os participantes.

Uma tentativa mais recente de incorporar os retornos crescentes ao âmbito da análise regional está associada aos modelos da chamada Nova Geografia Econômica. Estudos relacionados à esta teoria buscam discutir os mais relevantes temas da economia regional e urbana, partindo de um pressuposto fundamental, ou seja, de que os modelos clássicos e parte considerável de suas reinterpretações, que norteiam a economia regional e urbana, padecem de uma séria limitação teórica, qual seja a falta de fundamentos microeconômicos. Mais do que isso, acreditam que existe uma teoria regional capaz de sumarizar todos os modelos de economia regional e urbana dispersos na literatura. Teoria essa, capaz de desvendar a lógica microeconômica que guia a organização da produção no espaço (Ruiz, 2003) e, que teria dois

ingredientes fundamentais, inter-relacionados entre si, a saber, os retornos crescentes de escala e o reconhecimento de uma estrutura de mercado de concorrência imperfeita.

O alicerce fundamental dessa teoria geral é conhecido como modelo centro-periferia, apresentado inicialmente por Krugman, em 1991 e, progressivamente desenvolvido ao longo da última década (FILHO, 2009). Um importante resultado que emerge desse modelo é a possibilidade de divergência entre regiões. Em outros termos, a possível emergência de uma estrutura regional caracterizada por um centro industrializado e, uma periferia puramente agrícola. Contudo, apesar da busca por explicações acerca da alocação das atividades econômicas, permanece uma mesma questão central de como explicar a aglomeração das atividades econômicas em pontos bem definidos do espaço. Mais precisamente, enfatiza-se claramente a necessidade de analisar a configuração espacial das atividades econômicas como o resultado de um equilíbrio de forças contrárias. Ou seja, entre forças centrípetas, que tendem a favorecer a aglomeração econômica e forças centrífugas, que favorecem a dispersão.

Em um período mais recente, também surgiram novas abordagens acerca dos impactos das economias de escalas e da concorrência imperfeita no comércio mundial. Contudo, a conclusão favorável à liberalização comercial não mudou. Para Krugman (1991), a ideia básica é a de que geralmente as indústrias são caracterizadas por operarem em economia de escala ou com rendimentos crescentes e que as economias de escalas podem ser internas ou externas. Além do mais, segundo essa teoria, o comércio não necessita ser resultado das diferenças das vantagens comparativas (KRUGMAN e OBSTFELD, 2001). Nesta perspectiva, a integração comercial permitiria a ampliação dos mercados, das escalas de produção e da divisão do trabalho, permitindo o aprofundamento complementar de especializações eficazes internacionalmente.

Em consequência à presença de economias de escala, a concorrência perfeita é substituída pela concorrência imperfeita, sendo este o modelo mais adequado para analisar-se o comércio. Krugman e Obstfeld (2001) mostram que segundo a ideia das economias de escala, cada país deve concentrar-se na produção de um número limitado de bens, pois com os países produzindo uma quantidade reduzida de produtos, cada um poderá produzir em uma escala maior do que se tentasse produzir uma maior variedade de bens. Sendo assim, o comércio internacional possibilita que cada país produza uma variedade restrita de bens que proporcione a obtenção de vantagens de economia de escala sem sacrificar a variedade de consumo, de tal forma que o comércio internacional amplia a variedades dos bens disponíveis no mercado.

Considerando-se os propostos pelos economistas clássicos e liberais, bem como a nova teoria do comércio internacional, com o pressuposto de economias de escalas e da concorrência imperfeita no comércio mundial, pode-se concluir que as diferenças internacionais não implicariam assimetrias, mas complementaridades mutuamente vantajosas: os ganhos de comércio resultantes seriam distribuídos em um jogo de soma positiva, de forma que os ganhos de uns não seriam feitos às custas das perdas de outros. Mesmo aqueles deslocados pela concorrência com importados poderiam se especializar, a maior ou menor prazo, em linhas de produção e exportação mais vantajosas que antes. Desse modo, no longo prazo, o comércio internacional não afetaria o nível de emprego de recursos entre os países, mas apenas sua alocação intersetorial, aumentando a renda real graças aos ganhos de especialização.

Com uma visão contrastante acerca das vantagens do comércio internacional, tem-se os trabalhos da CEPAL, representados principalmente por Raul Prebisch. Estudos elaborados pela CEPAL tem como uma das maiores contribuições a identificação da existência de deterioração nos termos de troca entre os países centrais e os periféricos, o que tornava evidente que o comércio mundial não estava sendo favorável ao desenvolvimento dos países da periferia da América Latina. Conforme esta visão, a solução se daria através de um profundo processo de industrialização dos países da periferia através do processo de substituição de importações. Para Prebisch (1949), os benefícios do desenvolvimento econômico não chegaram aos países periféricos, ficando limitados apenas aos países centrais e deixando claro o desequilíbrio dos frutos do comércio internacional.

Segundo Prebisch (1949), identifica-se desigualdade de produtividade nas trocas comerciais entre os países do centro e da periferia, de tal forma que ficava evidente a não distribuição equitativa dos frutos do progresso técnico. Ainda conforme o autor, com a elevação da produtividade na indústria através do progresso técnico, deveria haver uma redução dos preços dos produtos manufaturados mais do que proporcional aos preços dos produtos primários, já que a elevação da produtividade reduz os custos de produção (MOREIRA, 2012). Caso isso acontecesse, as teorias clássica e neoclássica estariam corretas e os benefícios do comércio internacional atingiriam todas as nações de forma equitativa. No entanto, de acordo com os cepalinos, não foi isso que ocorreu, pois se observou que a elevação da produtividade nos países centrais não teve como contrapartida a redução dos preços relativos dos bens manufaturados, pelo contrário, elevaram-se proporcionando maiores ganhos para os países mais desenvolvidos e aumentando a renda dos empresários e dos fatores produtivos dessas nações.

Prebisch (1949, 1952) busca explicar o desequilíbrio entre as nações através do progresso técnico. De acordo com o autor, os avanços tecnológicos reduziram a proporção em que os produtos primários intervêm nos valores dos produtos finais e isso teve como consequência uma redução da demanda global por produtos primários. Por outro lado, a demanda por produtos industrializados teria uma forte tendência a aumentar. Isso tem grandes implicações para os países da periferia da América Latina, que tem sua produção concentrada em produtos primários e uma pauta importadora baseada em bens industrializados. Segundo o autor, isso ocasionava uma deterioração dos termos de troca entre os países de tal forma que provocava um desequilíbrio de renda entre o centro e a periferia.

Portanto, Prebisch (1949) e os cepalinos afirmavam que as exportações dos países periféricos se mostravam insuficientes para suprir as suas necessidades de importações, as quais vinham crescendo cada vez mais (PREBISCH, 1949). Assim, defendiam a industrialização substitutiva dos países periféricos como um mecanismo de mudar a composição da pauta de importações e exportações e, conseqüentemente, elevar a sua renda através da dinâmica do progresso técnico. Desta forma, o desequilíbrio do balanço de pagamentos agravado pela deterioração dos termos de troca nas relações comerciais seria atenuado, diminuindo a vulnerabilidade externa dos países periféricos.

Considerando as possíveis divergências teóricas acerca da importância do comércio internacional para nações economicamente diferentes, vale também avaliar como se dão os impactos ambientais sobre as diferentes nações. Desde o século XX, estudos buscando a relação entre o desenvolvimento sustentável e os diferentes níveis de desenvolvimento das nações, têm se tornado mais frequente.

Em 1987, o relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (*World Commission on Environmental and Development - WCED*), conhecido como Relatório Brundtland (WCED, 1987), apresentou a possibilidade de se alcançar a sustentabilidade sem que houvesse mudanças significativas no sistema econômico, lançando a ideia de desenvolvimento sustentável. A partir de então, o desenvolvimento passou a ser entendido como uma saída para os problemas ambientais, no momento em que foram identificadas sinergias entre o crescimento econômico e melhorias ambientais (MOREL, 2016).

Dado o contexto, alguns autores passaram a investigar uma relação que passaria a ser chamada de Curva de Kuznets Ambiental (CKA), em que algumas medidas de degradação ambiental aumentariam nos momentos iniciais do crescimento econômico, porém,

eventualmente, diminuiriam quando certo nível de renda fosse alcançado. Este conceito da CKA surgiu no começo da década de 1990 para descrever a trajetória, no tempo, que a poluição de um país seguirá como resultado do desenvolvimento econômico.

Em 1995, Grossman e Krueger (1995), inspirados no trabalho de Kuznets, foram os precursores da apresentação da relação entre o crescimento econômico e os recursos naturais (CKA). Esse estudo mostrou as consequências da redução das barreiras comerciais sobre a degradação ambiental, de forma que os impactos da regulação do NAFTA para os EUA e o Canadá consistiriam em uma maior especialização de atividades intensivas em capital humano e físico e na geração de "tecnologias limpas". O estudo destes autores se baseou em um modelo *cross-section* para 42 países, relacionando a qualidade do ar com os níveis de crescimento econômico. Os resultados encontrados demonstraram que a concentração de poluentes aumenta com o PIB *per capita* em estágios iniciais, com níveis de renda baixos, e reduz com níveis mais altos, salientando um formato de "U-invertido" entre emissão de poluentes e os níveis de riqueza dos países.

Mesmo antes do surgimento do conceito da CKA, Grossman e Krueger (1991) já ressaltavam que o crescimento econômico afeta as condições ambientais. De acordo com os autores, são três as formas de o crescimento econômico impactar no ambiente: primeiro, pela escala de produção, o efeito no meio ambiente vai ser negativo, uma vez que ao aumentar a produção precisa-se de mais insumos, ocasionando maiores níveis de poluição e emissão de resíduos; segundo, pela tecnologia, pois o crescimento vai sendo aprimorado e assim, os equipamentos são substituídos por outros mais modernos e menos poluentes e; por último, pela composição que está relacionada com mudanças estruturais da própria economia, em que há maior demanda por serviços e melhor qualidade ambiental e governos mais proativos na defesa do meio ambiente.

Por outro lado, Selden e Song (1994) apontam que o formato de "U-invertido" está associado a quatro fatores: (i) uma elasticidade renda positiva para qualidade ambiental, o que significaria dizer que as pessoas tendem a querer mais qualidade ambiental conforme aumenta a renda; (ii) mudanças na composição da produção e do consumo; (iii) níveis maiores de educação ambiental e conscientização das consequências da atividade econômica sobre o meio ambiente; e (iv) sistemas políticos mais abertos. Ainda nesta perspectiva, Stern (2004) e Cole (2004) apontam que aumento na rigidez da regulação ambiental, melhorias tecnológicas e a

liberalização comercial também seriam fatores importantes para explicar o descolamento entre a degradação e os níveis de renda.

Seguindo esta ideia, os países passariam por estágios de desenvolvimento, regidos pelas forças de mercado e por mudanças na regulação governamental. No primeiro estágio, marcado pela transição de uma economia tradicional agrícola para uma industrializada, o crescimento econômico implica uma pressão cada vez maior sobre o meio ambiente, resultado da criação e ampliação do parque industrial. O estágio seguinte, seria caracterizado pela maturação da sociedade e da infraestrutura industrial. Nesse ponto, o atendimento das necessidades básicas permite o crescimento de setores menos intensivos em recursos e poluição, e as melhorias técnicas começam a reduzir a intensidade de matéria/energia e rejeitos da produção. Por fim, no terceiro estágio de desenvolvimento, ocorreria o "descolamento" entre o crescimento econômico e a pressão sobre o meio ambiente, a partir do momento em que o primeiro não mais implica um aumento do segundo (GROSSMAN e KRUEGER, 1995; SELDEN e SONG, 1994).

Ainda de acordo com os propósitos da CKA, quando o crescimento ocorre em um país extremamente pobre, a poluição inicialmente cresce porque os aumentos na produção geram emissões de poluentes e porque o país, dado sua pobreza, coloca uma baixa prioridade sobre o controle da degradação ambiental. A medida que o país ganha suficiente grau de afluência, sua prioridade muda para proteção da qualidade ambiental. Se esse efeito renda é forte o suficiente, causará o declínio da poluição. Tal raciocínio sugere que a melhoria ambiental não pode vir sem crescimento econômico (SERRANO et al, 2014).

Com outra perspectiva, Dinda (2005) afirma que há uma série empecilhos para que os países não industrializados alcancem o nível de renda per capita necessário para que se verifique a redução na poluição preconizada pela CKA. Para o autor, a degradação ambiental nos países em desenvolvimento e não desenvolvidos está relacionada ao aumento da produção de *commodities*, principalmente para a exportação. Ou seja, a inserção no comércio internacional não se dá exclusiva ou prioritariamente com a industrialização, mas também através da produção de produtos primários, relacionada a práticas degradantes como desmatamento, queimadas e perda da qualidade do solo com a aplicação de defensivos agrícolas. Desta forma, Dinda (2005) conclui que é com a intensificação da atividade primária que tais países experimentam sucessivas reduções em seus estoques de capital natural. Ainda segundo o autor, a redução do capital natural tem um efeito duplo sobre as concepções básicas da CKA. Em um primeiro momento, ao reduzir seu capital natural potencial os países não industrializados

encontram maiores obstáculos para a industrialização, dada a menor disponibilidade de recursos para o avanço tecnológico. Além disso, o menor estoque de natural disponível faz com que países não desenvolvidos encontrem maiores dificuldades em arcar com os custos da redução da poluição (DINDA, 2005).

2.3 O COMÉRCIO INTERNACIONAL E O MEIO AMBIENTE

A busca pelo crescimento econômico e sua distribuição entre países e setores tem um profundo impacto sobre a integridade do meio ambiente. O comércio internacional, os fluxos de capital e os padrões tecnológicos são elementos cruciais para o crescimento global e determinam a magnitude da escala do sistema econômico e seus impactos sobre o meio natural. Essa inter-relação, proporcionada pela globalização, leva a mudanças dramáticas nos estilos de vida e nos padrões de consumo, afetando a capacidade de suporte dos sistemas naturais (ANDRADE, 2008).

A economia ecológica surge então para soluções em meio aos impactos ambientais causados pelas atividades econômicas. De acordo com Martinez-Alier (1996), a economia ecológica é um campo de estudo transdisciplinar que enxerga a economia como um subsistema de um ecossistema global maior e finito. Economistas ecológicos questionam a sustentabilidade da economia pelos seus impactos ambientais e os seus requisitos materiais e energéticos e pela expansão demográfica (MARTINEZ-ALIER, 1996).

Uma contribuição fundamental da economia ecológica tem sido a produção de indicadores e índices de sustentabilidade a partir do desenvolvimento e operacionalização em torno do conceito de “metabolismo social” (PORTO, 2007). Com base nesse ponto de vista, a economia ecológica liga as ciências naturais e as ciências sociais, descrevendo a economia como uma relação entre os fluxos dos sistemas de produção (energias e materiais) e os fluxos comerciais (produtos e serviços). Assim, a economia ecológica abrange esses fluxos através da “pegada ecológica” (*footprint*), uma proposta de índice único de sustentabilidade e insustentabilidade, com fins didáticos e políticos.

Um estudo pioneiro sobre a relação entre economia e fluxos de energia e materiais foi desenvolvido no final do século XIX pelo economista fisiocrata Patrick Geddes. A ideia original do cálculo de Geddes é particularmente relevante para pensarmos numa teoria sobre o comércio desigual que ocorre entre os grandes centros econômicos (Europa, Japão e Estados Unidos) e as periferias do mundo (PORTO, 2007). A aplicação de alguns destes conceitos propostos

permite que seja possível superar as limitações da economia neoclássica e identificar práticas desiguais de comércio, mesmo em “mercados perfeitos”.

Ainda de acordo com as ideias de Geddes (PORTO, 2007), uma teoria do comércio desigual formulada pela economia ecológica poderia dizer que, quanto mais da energia original – a energia disponível ou o “potencial produtivo” presente na matéria-prima exportada – é dissipada no processo de elaboração do produto ou serviço final (no centro econômico), mais altos deveriam ser os preços destes produtos ou serviços. Quando isso não ocorre, significa que os preços finais simplesmente não contabilizam os valores de boa parte da energia, dos materiais e do trabalho que se encontram por trás daquele produto (PORTO, 2007).

Outro termo que surgiu para uma melhor compreensão do metabolismo social, é o perfil metabólico de um país ou região (PORTO, 2007). O perfil metabólico tem servido como um indicador de sustentabilidade obtido a partir da contabilidade de fluxos de material e energia (MEFA – *material and energy flow accounting*), uma metodologia que associa os fluxos biofísicos com a operação de sistemas socioeconômicos para regiões durante certa escala temporal. Outra forma de operacionalizar o perfil metabólico é usando-se a apropriação humana da produção primária líquida (HANPP – *human appropriation of net primary production*), desenvolvida para ser um índice de perda de biodiversidade. O nível de desenvolvimento econômico, a geografia particular de cada país ou região, a densidade populacional, as relações comerciais exteriores, as tecnologias e as regras ambientais que mudam constantemente, são fatores que ajudam a explicar os diversos perfis metabólicos existentes.

Atualmente, os métodos para o estudo do metabolismo social buscam identificar as tendências na economia do uso de materiais e energia. Alguns conceitos da economia ecológica, como o comércio ecologicamente desigual, têm sido assumidos por grupos ambientalistas do Sul, especialmente por grupos pós-extrativistas na América Latina. Por exemplo, cresce na política argentina a questão do metabolismo da produção da soja (a perda de nutrientes do solo e da água virtual) e os danos da aplicação de glifosato em cultivos (PENGUE, 2005).

Entre estes métodos, tem-se os cálculos da “água virtual” na importação ou exportação (trigo, soja, carne, etanol, celulose, ...) em níveis regionais ou internacionais, a água “dissipada” no cultivo agrícola, em pastagens e em silvicultura (MARTINEZ-ALIER, 1996). Em 2007, Hoekstra e Chapagain (2007) calcularam as pegadas hídricas nacionais e, há pesquisa nas transferências hídricas não pagas incorporadas ao comércio de *commodities*. Contudo, Martinez-Alier (1996) destaca que não existem casos de crescimento rápido do PIB com

decréscimo persistente de Fluxos Materiais (em particular quando se levam em conta os efeitos sobre o comércio), mas poderia acontecer que o aumento de insumos de combustíveis fósseis na agricultura eleve as produtividades e reduza o incremento da HANPP (VITOUSEK et al., 1986; KRAUSSMAN et al., 2013).

Segundo o *Global Footprint Network* (2020), o Brasil possui reservatório de biocapacidade de 209%, ou seja, sua biocapacidade excede a pegada ecológica de sua população. Enquanto isso, países da União Europeia apresentam um déficit de biocapacidade. Estudos do EUROSTAT (2020) também revelam que no período 1980-2000, o bloco econômico importou quatro vezes mais bens do que exportou. No mesmo período, a América Latina exportou seis vezes mais bens do que importou. Essa discrepância sugere como o consumo dos países centrais está se realizando tendo como contrapartida os danos ambientais para países periféricos.

Segundo Porto (2007), parte do comércio internacional permanece em padrões semelhantes ao do século XVI: baseado em “preciosidades”, ou seja, produtos com alto valor econômico em relação ao seu peso, como ouro e diamantes. Além disso, nem todos os países em desenvolvimento têm superávit de exportação: por exemplo, a Índia e a China provavelmente importam mais devido à importação de petróleo. Os insumos essenciais do metabolismo dos países importadores podem, de fato, causar danos à ecologia e à sociedade dos países exportadores. Dessa forma, de acordo com Porto (2007), os importadores se beneficiam por consumir produtos de baixos preços cujos impactos se realizam em outras regiões, embora alguns deles acabem revertendo em termos globais que afetam o planeta como um todo, como as mudanças climáticas.

Ainda considerando os aspectos relacionados ao comércio internacional e ao meio ambiente, destaca-se um debate que tem gerado crescente interesse nos fóruns de discussão, mas também é marcado por controvérsias. Na visão de Almeida et al. (2010), têm-se a existência de duas visões conflitantes no que tange à relação entre comércio e meio ambiente: os ambientalistas e os defensores do livre comércio. Na perspectiva dos ambientalistas, o grande crescimento econômico proporcionado pelo livre comércio é fonte de prejuízos ao meio ambiente, por haver maior necessidade de recursos naturais para aumentar a escala de produção. Além disso, simpatizantes desta visão argumentam que relações comerciais baseadas na competitividade, levam os países a adotarem padrões ambientais domésticos estrategicamente mais baixos, para que estes possam apresentar um produto no mercado com menor custo de

produção e em maior escala. Assim, os defensores desta ideia ambientalista indicam a necessidade de utilizar as chamadas “barreiras verdes” para proteger os recursos naturais do uso exacerbado.

Por outro lado, com uma visão diferente das ideias ambientalistas, tem-se os defensores do livre comércio. Fundamentados na curva ambiental de Kuznets, afirmam que o crescimento econômico é capaz de promover o desenvolvimento sustentável, além de preservar o meio ambiente. Ademais, salientam que a liberação comercial promove pressão competitiva que resulta em uma “corrida para o topo”, na qual os países ricos induzem os países pobres a adotarem uma desenvolvida regulação ambiental, sob pena de seus produtos serem barrados em tais mercados (ALMEIDA et al., 2010). De acordo com Queiroz (2009), os adeptos da teoria que defende o livre comércio argumentam que o aumento das exportações promove o crescimento econômico, que, por sua vez, disponibiliza os recursos financeiros necessários aos investimentos públicos e privados para a preservação ambiental. Desta forma, as exportações estimulariam a preservação ambiental, através da geração de recursos.

Analisando a comercialização e seus impactos ambientais, Padrão et al. (2015) observam que a produção agrícola e, em especial a produção de grãos, é de grande importância para a economia brasileira. No entanto, apesar do seu papel essencial em atender à demanda crescente por alimentos, além do importante papel no sequestro de carbono e na preservação da biodiversidade, a produção agrícola também acarreta inúmeros impactos ambientais, por ser fortemente dependente dos recursos naturais. Apesar da complexidade da regulação ambiental no Brasil, ela ainda é predominantemente formada por medidas de comando e controle e, a correta utilização dos recursos naturais ainda não ocorre em razão da fiscalização ineficiente e da interferência de grupos de interesse. Estes fatores associados levaram o Brasil a ocupar lugar de destaque no *ranking* mundial de emissões de poluentes pela atividade agrícola. Resultado este que se torna ainda mais alarmante quando são analisadas as origens dos poluentes: a maior parte das emissões tem origem nos fertilizantes sintéticos (60%) e nos resíduos de culturas (28%).

Apresentado o referencial teórico o qual embasa este trabalho, a sequência do trabalho contempla a apresentação de teorias e aplicações do modelo. O Modelo Gravitacional foi o método escolhido para a estimação, afim de se encontrar resultados os quais cumpram com os objetivos propostos.

3 O MODELO GRAVITACIONAL TEORIA E APLICAÇÕES NO COMÉRCIO INTERNACIONAL

Apesar de haver uma vasta literatura empírica acerca da economia internacional, cada qual voltada à compreensão de fatos específicos e de uma análise particular, os modelos gravitacionais são os mais comumente estimados para avaliar os determinantes dos fluxos comerciais. Surgidos em meados da década de 1960, estes modelos gravitacionais com base na “Lei de gravidade de Newton” evoluíram e tornaram-se instrumentos frequentemente utilizados para explicar o comércio entre duas unidades econômicas, usualmente, países ou blocos. Este capítulo 3 aborda os aspectos teóricos dos modelos gravitacionais, apresentando inicialmente em sua seção 1 seu histórico, evolução e características gerais. Na seção 2, tem-se a apresentação da introdução de fundamentos microeconômicos ao modelo. A seção 3 discute-se aplicações gerais dos modelos gravitacionais de comércio bilateral. Por fim, na seção 4 serão apresentadas aplicações do modelo com recursos naturais.

3.1 ORIGEM E USO DO MODELO GRAVITACIONAL

A Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton, formulada na metade do século XVII afirma que: “a atração (F) entre dois corpos (de massa q_1 e q_2) é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente relacionada com a distância ao quadrado (d^2) entre eles”. Tal relação da equação da gravidade pode ser expressa pela equação, onde G é uma constante gravitacional:

$$F = G \frac{(m_1 m_2)}{d^2} \quad (1)$$

Em 1960, Israd introduziu o modelo gravitacional nas ciências econômicas. Mais especificamente, Israd introduziu seu modelo no campo da economia regional, analisando o potencial da mobilidade do fator trabalho entre as várias regiões dos Estados Unidos, com a utilização do rendimento com medida de massa, sob a justificativa de que uma região teria tanto mais poder para atrair trabalhadores quanto maior fosse o seu produto. Além disso, o autor estudou o volume dos fluxos de comércio de mercadorias dentro dos Estados Unidos, por meio da análise de que o volume de comércio é menor quanto maior for a distância que separa os dois locais de produção e consumo.

De forma análoga, em sua versão mais simples, os fluxos de comércio bilaterais podem ser expressos pela equação:

$$T_{ij} = A \frac{Y_i Y_j}{D_{ij}} \quad (2)$$

Onde:

T_{ij} : fluxo bilateral de comércio entre i e j ;

Y : renda de cada um dos países i e j ;

D_{ij} : distância geográfica entre os países i e j ;

A : constante.

As aplicações do modelo gravitacional ao comércio internacional foram primeiramente propostas por Tinbergen (1962) e Pöyhönen (1963). O objetivo destes autores era explicar o montante de comércio entre dois países, assumindo que o volume de comércio se relaciona positivamente com o tamanho dos países, medido pelo produto doméstico e, negativamente com o custo de transporte entre os dois países, medido pela distância entre seus centros econômicos.

Tinbergen (1962) classificou os fatores que definem os tamanhos dos fluxos de comércio entre dois países em três conjuntos. O primeiro inclui os fatores relacionados ao total de oferta potencial dos países exportadores. O segundo conjunto inclui os fatores relacionados ao total de demanda potencial dos países importadores. Estes fatores principais eram basicamente determinados pelo tamanho do PIB dos países exportadores (Y_i) e PIB dos países importadores (Y_j). O terceiro conjunto de fatores se relaciona aos fatores naturais e artificiais que impõe obstáculos para o comércio (A). A resistência natural foi definida como sendo os obstáculos impostos pela natureza, como custos e tempo de transporte, horizonte econômico e distância psicológica, já a resistência artificial é dada pelas tarifas, quotas, controles de exportação e salvaguarda. A expressão demonstra a relação proposta:

$$X_{ij} = \alpha Y_i^{\beta_1} Y_j^{\beta_2} A^{\beta_3} u_{ij} \quad (3)$$

Onde:

X_{ij} : é o valor das exportações do país i para o país j ;

Y_i e Y_j : valor nominal do PIB do país i e j , respectivamente;

A : conjunto de fatores (naturais e artificiais) que impõe obstáculos para o comércio;

α : constante.

Em 1966, Linnemann utilizou a equação da gravidade similar à de Tinbergen (1962), porém, incluindo no conjunto das variáveis explicativas, os tamanhos populacionais dos dois

países envolvidos, de modo a refletir o papel das economias de escala. A equação proposta é expressa por:

$$X_{ij} = \alpha_0 (Y_i)^{\alpha_1} (Y_j)^{\alpha_2} (N_i)^{\alpha_3} (N_j)^{\alpha_4} (Dist_{ij})^{\alpha_5} (e_{ij}) \quad (4)$$

Onde:

X_{ij} : valor nominal das exportações do país i para o país j ;

Y_i e Y_j : valor nominal do PIB do país i e j , respectivamente;

N_i e N_j : população do país i e j , respectivamente;

$Dist_{ij}$: distância entre os centros comerciais dos dois países, utilizada como uma *proxy* para as variáveis de resistência ao comércio;

e_{ij} : termo de erro.

No entanto, os modelos iniciais receberam críticas quanto à sua fundamentação teórica, pois esta carecia de integração com a teoria de comércio internacional. A fim de preencher essa lacuna, posteriormente foram desenvolvidos vários trabalhos, entre eles pode-se citar Anderson (1979), Bergstrand (1985 e 1989), Deardorff (1998), Anderson e Van Wincoop (2003), entre outros.

3.2 EVOLUÇÃO E FUNDAMENTOS MICROECONÔMICOS NO MODELO GRAVITACIONAL

Linnemann (1967) foi o primeiro a introduzir fundamentos microeconômicos ao modelo gravitacional. O autor elaborou um caminho para derivar a equação da gravidade, como uma forma reduzida de um sistema de quatro equações resultando em um modelo de equilíbrio parcial. Essas quatro equações representam a oferta de exportações e a demanda de importações para um par de países. O autor assumiu que a função de demanda para importações era separada para cada parceiro comercial. Os preços foram excluídos, pois de acordo com o Linnemann (1967), eles se ajustavam para equalizar a oferta e a demanda. Harrigan (2001) destaca que na abordagem de Linnemann, aparentemente não há qualquer papel para as vantagens comparativas, nem a dotação de fatores relativa, nem os níveis tecnológicos relativos entram na equação gravitacional e, foi esta aparente falta de ligação com a teoria neoclássica do comércio que levou à conclusão de que o modelo gravitacional carecia de fundamentação microeconômica.

Em 1979, Anderson derivou teoricamente a equação da gravidade, aplicando o modelo para *commodities*. O modelo teórico tem base no sistema de dispêndio Cobb-Douglas, com

manutenção de preferências homotéticas entre as regiões e produtos diferenciados pelo país de origem, segundo a proposta de Israd (1977). Para Anderson (1979), o modelo apresenta três vantagens distintas em relação ao modelo proposto por Linnemann (1967):

1. Explica a forma multiplicativa da equação;
2. Permite uma interpretação da distância na equação, identificando o coeficiente estimado, e que pode ser usado como parte de uma abordagem sobre estimação de efeitos de mudanças instrumentais;
3. A pressuposição relativamente vaga de uma “estrutura” idêntica entre países foi interpretada diretamente como funções de dispêndio idênticas;

Contudo, segundo o autor, o modelo também apresenta uma limitação, pois o estimador de MQO pode ser viesado, devido a uma possível correlação entre variáveis Y (PIB) e os termos de erro, devido à problema de simultaneidade entre a variável dependente e variáveis explicativas, dado que a primeira compõe as variáveis Y .

Anderson (1979) assume em seu modelo que todos os países produzem bens comercializáveis e não comercializáveis e, uma função de preferência global com propriedades fracamente separáveis com respeito à partição desses. Dado o nível de gastos entre bens comercializáveis e não comercializáveis, a demanda de bens comercializáveis é determinada por uma função de utilidade homotética sujeita a uma restrição envolvendo o nível de gastos em bens comercializáveis. As funções de utilidade são idênticas entre todos os países, de forma que a parcela de qualquer bem nos gastos é a mesma. Portanto, para cada país consumindo j , i_θ é o gasto do país com bens comercializáveis dividido pelo total gasto em j sobre bens comercializáveis. A homoteticidade é imposta devido a presença de gastos de bens comercializáveis na função como um argumento de i_θ que a função irá gerar complicações na estimação. Portanto, a homoteticidade, implica que, “*certis paribus*”, as despesas com comércio de países grandes representam expansões escalares de despesas com comércio de países pequenos.

Helpman e Krugman (1985) desenvolveram um modelo de equilíbrio geral, que deu fundamentação teórica sólida ao modelo gravitacional. É um modelo 2x2x2 (dois países, dois fatores de produção e dois bens), facilmente generalizável para vários países, bens e fatores, e possui três casos alternativos: (i) ambos os bens são homogêneos; (ii) um bem é homogêneo, mas o outro contém produtos diferenciados; e, (iii) ambos os bens são diferenciados. No primeiro caso, a dimensão relativa dos países não tem qualquer influência no volume de

comércio enquanto nos casos (ii) e (iii), ela é determinante. A diferenciação de produtos e economias de escala internas à empresa introduz incentivo para além daqueles que se obtêm com dotações fatorais relativas diferentes, com isso a dimensão relativa dos países tem influência direta no volume de comércio. Já os custos de transporte conduzem ao enfraquecimento das relações comerciais que se estabelecem entre os países.

Partindo de um modelo Heckscher-Ohlin para um modelo de equilíbrio geral, Bergstrand (1985) estende as bases teóricas da equação gravitacional, incluindo variáveis representativas de preços ao modelo de gravidade. Segundo o autor, o modelo de equilíbrio geral de comércio mundial deriva do comportamento do agente utilitário e maximizador de lucros nos N países, assumindo um único fator de produção em cada país. O fluxo comercial entre i e j é uma função de recursos disponíveis nos países tais como barreiras comerciais, fatores de custos de transporte entre os pares de países. Além disso, o fluxo de comércio bilateral entre os países pode incluir rendas de importação e exportação como variáveis exógenas, e há perfeita substitutibilidade de bens entre os países.

Bergstrand (1985) assumiu seis hipóteses para derivar a equação gravitacional:

1. O mercado para o fluxo comercial agregado entre dois países é relativamente pequeno em relação aos outros mercados, sendo esta situação análoga, para uma pequena economia aberta em que níveis de preços externos, taxas de juros e renda externa são tratadas como variáveis exógenas. Esta hipótese reduz o sistema de equilíbrio geral para um sistema de equilíbrio parcial, em que as rendas do país importador e exportador são tratadas exogenamente, consequentemente certos termos de preço também são;
2. Funções de utilidade e produção idênticas entre os países asseguram que os coeficientes das elasticidades de substituição entre os bens domésticos e importados; entre os bens importados e os coeficientes das elasticidades de transformação entre a produção para mercados domésticos e estrangeiros; e, a elasticidade de transformação para produção entre os mercados de exportação, são constantes através de todos os pares de países. Como resultado, têm-se a equação gravitacional generalizada, que é especificada como geral por tratar as rendas do importador e do exportador como exógenas e não impor restrições aos valores dos parâmetros, exceto por considerar as elasticidades constantes entre os pares de países;
3. Perfeita substitutibilidade de bens na produção e consumo;
4. Perfeita arbitragem dos bens;
5. Tarifa zero;

6. Custos de transporte zero.

Além das relações indiretas de preços, Bergstrand (1985) acrescenta à equação o uso de *dummies*. A variável tarifa pode ser *proxy* de variáveis que indicam a presença de acordos de comércio preferencial, os fatores de custos de transporte podem ser *proxy* da distância entre centros econômicos.

Em 1989, Bergstrand amplia sua análise adicionando a dotação de fatores na ótica do modelo de Heckscher-Ohlin e as variáveis de preferências não-homotéticas. Trata-se de um modelo de equilíbrio geral de comércio mundial, que apresenta dois setores com produtos diferenciados, dois fatores (capital e mão de obra) e N países. Assumindo um consumidor representativo, que maximiza uma função de utilidade Cobb-Douglas, sujeita a uma restrição de renda, as curvas de demanda resultantes relacionam os fluxos de comércio bilateral com a renda nacional, à renda per capita e os preços, dado que, países com semelhantes rendas per capita tem demandas semelhantes. A maximização da função utilidade sujeita a restrição de renda implica em um conjunto de funções de demanda por importações bilaterais. Assumindo que os consumidores sejam idênticos, com preferências homotéticas, pode-se derivar a curva de demanda inversa agregada bilateral para os consumidores do país importador. Essa função implica que a elasticidade da renda da demanda nacional per capita irá ser maior que a unidade se a renda per capita aumentar.

Deardoff (1998) apresenta a equação gravitacional derivada de modelos Ricardianos de comércio e modelos de competição imperfeita e retornos crescentes de escala. Para tal, o autor parte de dois equilíbrios diferentes do modelo de Heckscher-Ohlin: comércio sem atrito (“*trade frictionless*”), e o comércio com atrito (“*impeded trade*”).

Primeiramente, no caso do comércio sem atrito, o autor assume que não há barreiras ao comércio, sem tarifas e custos de transporte zero, os produtos são homogêneos e não há impedimentos ao comércio com cada país sendo exportador líquido de alguns bens para o mercado mundial e importador líquido de outros. Desse modo, os padrões de comércio bilateral são indeterminados, em virtude de os consumidores serem indiferentes entre os muitos possíveis destinos para suas vendas e fontes para suas compras.

A fim de resolver essa indeterminação, Deardoff (1998) supõe que as compras são feitas de forma aleatória em pequenas quantidades entre os países ofertantes, o que permite derivar um fluxo de comércio esperado, ou seja, os produtores de cada setor expõem suas produções a nível mundial dentro do setor; os consumidores escolhem aleatoriamente os níveis desejados

de consumo. Assim, para o autor, se os consumidores extraírem desses setores em pequenos incrementos, a lei de grandes números permitirá prever com bastante precisão quais serão suas escolhas totais usando os valores esperados.

No caso de um comércio com atrito, incluem-se as hipóteses de barreiras ao comércio, tais como custos de transporte e produtos diferenciados. O autor deriva dois tipos de expressões para o comércio bilateral: uma para preferências Cobb-Douglas e outra para preferências CES (elasticidade constante de substituição). Com preferências Cobb-Douglas, os consumidores do país i gastam um montante de sua renda sobre o produto do país j . Dado o nível de renda, o comércio pode ser avaliado com custos de transporte c.i.f (custo, seguro e frete) ou custos de transporte f.o.b (livre a bordo do navio). Sob a base c.i.f., obtêm-se uma equação de gravidade simples para o comércio sem nenhum papel para os custos de transporte ou à distância. No entanto, sob f.o.b, os fluxos de comércio se reduzem no montante dos custos de transporte.

Considerando as preferências CES, se a distância relativa do país importador j do país exportador i é a mesma que uma média de todas as distâncias relativas dos demandantes de i , então as exportações de i para j serão as mesmas que no caso Cobb-Douglas. Ou seja, exportações f.o.b serão reduzidas pelo fator de transporte a partir de i para j . Se a distância relativa de i é maior do que a média, o comércio c.i.f (respectivamente f.o.b) ao longo deste percurso será correspondentemente menor do que a equação da gravidade simples sem atrito, enquanto que, se a distância relativa de i for menor do que isso, o comércio será proporcionalmente maior. Desde que o fator de transporte interno de um país é sempre a unidade e, portanto, menor do que a média, as compras internas do país serão sempre maiores do que parece justificada pela equação gravitacional simples sem atrito.

Além disso, Deardoff (1998) também analisa a elasticidade do comércio em relação a medidas de distância relativa. Segundo o autor, quanto maior a elasticidade de substituição entre os bens, mais o comércio entre países distantes ficará aquém da equação gravitacional e o comércio entre os países mais próximos (e transações dentro dos próprios países) irá ultrapassá-lo. Igualmente, uma redução geral dos fatores de transporte vai puxar o comércio para mais perto dos valores previstos pela equação gravitacional simples sem atrito, ou seja, o comércio entre países distantes irá se expandir, enquanto o comércio entre os países vizinhos e as compras de um país de si mesmo se contrairão e, o comércio internacional total se expande.

Em 2003, Anderson e Van Wincoop utilizaram um modelo de comércio de competição monopolista para derivar uma versão multilateral do modelo gravitacional. Segundo os autores,

o modelo de gravidade usualmente estimado não corresponderia a sua base teórica subjacente, por não considerar a resistência multilateral de comércio entre todos os parceiros comerciais.

O modelo gravitacional proposto por Anderson e Van Wincoop (2003) é derivado de uma função utilidade do tipo CES, sujeita a uma restrição orçamentária, associada com condições de equilíbrio de mercado. Basicamente, a decomposição da resistência ao comércio é derivada dentro de três componentes intuitivos:

1. Barreiras de comércio bilateral entre região i e região j ;
2. i 's resistências para comerciar com todas as regiões;
3. j 's resistências para comerciar com todas as regiões.

Determina-se que todos os produtos são diferenciados por país de origem. Com base em Deardoff (1998), assume-se que cada região é especializada somente na produção de um bem e a oferta de cada bem é fixa. As preferências são idênticas, homotéticas, aproximada por uma função de utilidade CES. Os custos de comércio são custeados pelo exportador, cada bem enviado do país i para o país j , o exportador incorre em custos de exportação igual a t_{ij} de bens do país i e, o preço indexado de resistência multilateral de comércio dependente positivamente das barreiras com todos os parceiros comerciais.

Na equação gravitacional derivada por Anderson e Van Wincoop (2003), o comércio bilateral, depois de controlado o tamanho, depende das barreiras de comércio bilateral entre i e j , dividido pelo produto da sua resistência de comércio multilateral. Assume-se que $\sigma > 1$. Alta resistência multilateral de importar de j aumenta o comércio com i , porque para uma dada barreira bilateral entre i e j , altas barreiras entre j e seus outros parceiros comerciais irão reduzir o preço relativo dos bens de i e aumentar as importações de i . Alta resistência multilateral de exportar i também aumenta o comércio, pois leva a um menor preço de oferta P_i . Portanto, dada barreira bilateral entre i e j , há um aumento do nível de comércio entre estes países.

A equação da gravidade básica é dada pela expressão:

$$X_{ij} = \frac{y_i y_j}{y^w} \left(\frac{t_{ij}}{P_i P_j} \right)^{1-\sigma} \quad (5)$$

Sujeita a:

$$P_j^{1-\sigma} = \sum_i P_i^{1-\sigma} \theta_{ij}^{1-\sigma} \forall j \quad (6)$$

A principal implicação teórica da equação da gravidade é que o comércio entre as regiões é determinado pelas barreiras comerciais relativas, ou seja, o comércio entre duas regiões depende das barreiras bilaterais em relação a médias das barreiras comerciais de ambas

as regiões face a todos seus parceiros comerciais. Esta suposição gera diversas implicações no impacto das barreiras comerciais sobre o comércio. Anderson e Van Wincoop (2003) destacam três, assumindo um aumento uniforme nas fronteiras de todos os países, e que cada região é um país sem atrito, são elas:

1. Barreiras comerciais reduzem o comércio entre países grandes mais do que entre países pequenos;
2. Barreiras comerciais aumentam o comércio dentro dos países pequenos mais do que dentro países grandes;
3. Barreiras comerciais aumentam a proporção de comércio no país 1 em relação a um comércio entre os países 1 e 2, mas o país menor é o país 1 e o maior é o país 2.

Desse modo, um incremento uniforme nas barreiras comerciais aumenta a resistência multilateral em maior magnitude em um país pequeno do que em um país grande. Isso ocorre porque o incremento nas barreiras comerciais somente se aplica ao comércio entre países. Barreiras comerciais dentro de países não têm mudanças. Para um grande número de países, a resistência multilateral do comércio não é afetada por causa do incremento de barreiras comerciais com praticamente o mundo inteiro, levando a um grande incremento na resistência multilateral.

3.3 APLICAÇÕES GERAIS DO MODELO

O modelo gravitacional é utilizado na economia moderna basicamente com sete objetivos principais:

- a) Mensurar os efeitos de integração econômica, como acordos preferenciais (APCs) e blocos sobre os fluxos internacionais de comércio (AITKEN, 1973; YAO et al., 2019);
- b) Estimar o efeito fronteira: redução no volume de comércio devido ao cruzamento de uma fronteira política. Esse efeito é mensurado pela diferença entre os fluxos de comércio esperados e os fluxos de comércio observados do país local que foram destinados ao país estrangeiro (BERTHELON e FREUND, 2008);
- c) Analisar o Investimento Direto Estrangeiro (IDE) (KAHOULI E OMRI, 2017);
- d) Avaliar os custos de transporte (DEARDOFF, 1998);
- e) Examinar a volatilidade da taxa de câmbio (IDSARDI, 2010; HATAB et al., 2010);
- f) Estimar os fluxos de comércio futuro entre os países, onde o procedimento é a comparação dos resultados obtidos através do modelo com as informações reais advindas dos relatórios oficiais (LINNEMANN, 1966);

g) Analisar o comércio internacional e sua relação com o meio ambiente (FOLFAS, 2011; KIM E KOO, 2011).

Para Berthelon e Freund (2008), a maneira convencional para estimar o efeito da distância no comércio é utilizando o modelo gravitacional. O modelo gravitacional descreve o comércio bilateral como proporcional ao produto da renda dos dois países e inversamente relacionado à distância entre eles. Em geral, o modelo aponta para um aumento na elasticidade do comércio em relação à distância.

3.4 ABORDAGEM EMPÍRICA INTERNACIONAL E NACIONAL DO MODELO GRAVITACIONAL E MEIO AMBIENTE

Estudos empíricos de comércio internacional que contemplem o modelo gravitacional têm crescido de forma significativa desde a sua criação até o momento recente. Um dos motivos para tal, decorre de sua ampla aceitação entre profissionais da área econômica e de sua fácil aplicação para analisar as implicações de blocos econômicos sobre o comércio internacional de bens. Dada a existência de uma vasta gama de estudos que abarcam esta temática, os estudos selecionados e aqui apresentados possuem o propósito de servir de parâmetros comparativos com os resultados a serem obtidos na presente pesquisa e apresenta aplicações do modelo gravitacional para análise de comércio considerando produtos agrícolas e emissões de poluentes

Erdem e Nazlioglu (2008) apresentaram um estudo que analisa os determinantes das exportações agrícolas turcas para a União Europeia (UE), estimando o modelo gravitacional em painel de 23 parceiros comerciais da UE no período 1996-2004. Segundo os autores, conclui-se que as exportações agrícolas turcas para a UE estão positivamente correlacionadas com o tamanho da economia, a população importadora, a população turca que vive nos países da UE, o ambiente climático não mediterrâneo e a adesão ao Acordo União Aduaneira UE-Turquia. Enquanto isso, estão negativamente correlacionados com as terras aráveis agrícolas dos países da UE e a distância geográfica entre a Turquia e os países da UE.

Idsardi (2010) realizou seu estudo visando economia da África do Sul entre os anos de 2004 e 2008. O estudo identificou dez produtos agrícolas de exportação que apresentaram um aumento significativo nas exportações nos últimos anos. Para o autor, essas exportações agrícolas emergentes formam a base para a análise dos determinantes do crescimento das exportações. Os determinantes identificados fornecem diretrizes para diversificação comercial futura. Um modelo gravitacional aumentado foi aplicado para investigar fatores como custo de

transação, tamanho do mercado, estágio de desenvolvimento econômico, flutuações da taxa de câmbio e o impacto de acordos comerciais nos fluxos de exportação dos produtos selecionados. Conforme o autor, constatou-se que vários fatores têm um impacto significativo nos fluxos comerciais, entre os quais: tamanho econômico do mercado, capacidade de oferta e tamanho físico do mercado.

Hatab et al. (2010) empregaram o modelo gravitacional para analisar os principais fatores que influenciam as exportações agrícolas do Egito para seus principais parceiros comerciais no período de 1994 a 2008. De acordo com os autores, um aumento de 1% no PIB do Egito resulta em um aumento de aproximadamente 5,42% nos fluxos de exportação agrícola do Egito. Por outro lado, o aumento do PIB per capita do Egito faz com que as exportações diminuam, o que é atribuído ao fato de que um aumento no crescimento econômico, além do aumento da população, aumenta a demanda per capita de todos os bens normais. Portanto, o crescimento doméstico em si leva à redução das exportações. Ainda segundo resultados obtidos, a volatilidade cambial tem um coeficiente positivo significativo, indicando que a depreciação da libra egípcia em relação às moedas de seus parceiros estimula as exportações agrícolas. Constatou-se que os custos de transporte, medidos através da distância geográfica, têm uma influência negativa nas exportações agrícolas. De acordo com os autores, esses resultados são importantes para a formulação de políticas comerciais que visam promover as exportações agrícolas egípcias no mercado mundial.

Kim e Koo (2011) realizaram um estudo que examina se a regulamentação de políticas que regulam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) afeta os fluxos de comércio de gado. Uma abordagem de modelo gravitacional específica de *commodities* foi empregada para estimar e testar o impacto da regulação das emissões de GEE nos fluxos de comércio de gado.

De acordo com os autores, o modelo gravitacional específico de *commodities* para o comércio de gado pode ser derivado do modelo gravitacional tradicional, incorporando as características e políticas únicas associadas aos fluxos comerciais da *commodity* específica nos países exportadores e importadores. A renda do país exportador é substituída pela renda agrícola do país para representar a capacidade geral de produção de *commodities* agrícolas do país. Acrescentou-se também uma dotação do fator agrícola, como terra ou área de floresta na equação, combinada com um modelo do tipo Heckscher – Ohlin – Vanek (HOV), uma vez que a diferença de dotação de fator é uma força motriz no comércio. Desse modo, o fator de conteúdo do comércio do país i (Fi) que denota um fator contido nas exportações. Além disso,

quatro *dummies* foram incluídas ao modelo para examinar o efeito da regulação das emissões de GEE no comércio de produtos de origem animal. Estas *dummies* representam fluxos comerciais de produtos de origem animal (i) de países que restringem as emissões de GEE para países que não restringem as emissões de GEE, (ii) de países restritos para países que restringem, (iii) de países irrestritos para países restritivos e (iv) de países irrestritos para países irrestritos.

Após estimarem o modelo com dados de 34 países membros da OCDE e 6 países candidatos à adesão à OCDE, além de países com maior envolvimento no período de 1999 a 2007, os resultados encontrados por Kim e Koo (2011) mostram que a regulamentação das emissões de GEE tem um efeito negativo nos fluxos de comércio de animais provenientes de países que restringem as emissões de GEE para países sem restrição de GEE, de países restritos para países restritivos e países irrestritos para países restritivos. Desse modo, as políticas que regulam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) podem gerar um significativo impacto para as indústrias emissoras e para os consumidores finais, o que pode levar a uma forte influência nos fluxos comerciais internacionais de *commodities*.

O artigo elaborado por Folfas et al. (2011) também aplica o modelo gravitacional, relacionando os fluxos comerciais com emissão de CO₂. Para os autores, diferentes padrões de proteção ambiental podem ser vistos como um obstáculo para o comércio internacional, favorecendo produtores que não precisam arcar com custos de adaptação a padrões ambientais mais altos, incluindo normas mais rigorosas de emissões de gases do efeito estufa. O modelo gravitacional proposto, busca servir como uma ferramenta para projetar medidas eficazes para prevenir e combater os efeitos do vazamento de carbono. Um deles é o ajuste de impostos nas fronteiras promovido por alguns estados da UE. A base de dados concentra-se nos fluxos comerciais dos setores industriais de aço e cimento, no período de 1995 a 2009.

O modelo teórico estimado por Folfas et al. (2011) inclui duas variáveis *proxy* para vazamentos de carbono, a emissão de CO₂ *per capita* e impostos ambientais. Dada a presença de variáveis invariantes no tempo, além de que feitos individuais podem ser correlacionados com variáveis dependentes, os autores utilizaram um estimador de Hausman-Taylor. Os resultados do estudo de Folfas et al. (2011) sugerem que o comércio de cimento e o aço tende a ser 2 e 1,5 vezes maior, respectivamente, nos países vizinhos do que naqueles que não têm uma fronteira comum. Além disso, o artigo observa fluxos de comércio 1,14 vezes maiores em cimento e aço dos países com maiores emissões de CO₂ do que daqueles com menor.

Em 2012, Arouri et al. (2012) realizaram um estudo aplicando testes de raiz de unidade de painel de inicialização e técnicas de cointegração para investigar a relação entre emissões de dióxido de carbono, consumo de energia e PIB real para 12 países do Oriente Médio e Norte da África (MENA) no período 1981-2005. De acordo com os autores, os resultados mostram que no longo prazo, o consumo de energia tem um impacto significativo positivo nas emissões de CO₂. Mais interessante, mostram que o PIB real exibe uma relação quadrática com as emissões de CO₂ para a região como um todo. No entanto, embora os coeficientes de renda estimados a longo prazo e seu quadrado satisfaçam a hipótese da CEE na maioria dos países estudados, os pontos de inflexão são muito baixos em alguns casos e muito altos em outros casos, fornecendo poucas evidências para apoiar a hipótese da CEE. Entre as principais conclusões encontradas, tem-se que reduções de emissões de CO₂ per capita foram alcançadas na região MENA, mesmo quando a região exibiu crescimento econômico no período 1981-2005. Assim, segundo o que os autores sugerem, futuras reduções nas emissões de CO₂ per capita podem ser alcançadas ao mesmo tempo em que o PIB per capita na região MENA continua a crescer.

Bureau e Jean (2013) avaliaram o impacto dos acordos regionais de comércio sobre os produtos agrícolas (1998-2009). Essa análise ilustra e avalia a crescente importância assumida pelos acordos comerciais preferenciais no comércio internacional de produtos agrícolas. Baseando-se em um banco de dados que detalha concessões tarifárias sobre produtos agrícolas em um grande número de acordos, segundo os autores, o efeito de um acordo regional de comércio aumenta a probabilidade de exportar um determinado produto para um país parceiro. Além disso, as margens preferenciais, medidas através do seu impacto nos preços no consumidor, são de aproximadamente 9% em acordos entre países do Sul, enquanto que para acordos entre o Norte e o Sul (OCDE de alta renda e outros) as margens preferenciais concedidas pelo primeiro são consideravelmente mais altas (aproximadamente 15% em média) do que os concedidos por este último (aproximadamente 4% em média, oito anos após a entrada em vigor).

Com uma visão voltada às mudanças climáticas recentes, Bu et al. (2016) em seu estudo relacionaram o processo de globalização e seus efeitos sobre o meio-ambiente. O seu trabalho pioneiro desta temática se deu através da utilização de um painel de 166 países no período 1990–2009. Os resultados obtidos pelos autores sugerem que, em média, as emissões globais de carbono aumentam em conjunto com níveis mais altos de globalização econômica, social e política. Além disso, este efeito varia entre o grupo de países da OCDE, que são em sua grande

parte países desenvolvidos, e os países não pertencentes à OCDE, países não desenvolvidos. Evidências a respeito da manufatura e do setor de construção, sugerem que a globalização está negativamente relacionada às emissões dos países da OCDE, mas positivamente às emissões dos grupos de países não pertencentes à OCDE. Assim, após decompor os principais contribuintes das emissões de carbono, os dados adicionais do setor de manufatura e construção produziram evidências consistentes com o efeito de um “paraíso de poluição” em termos de mudanças climáticas.

Kahouli e Omri (2017) abordam em seu artigo, por meio de modelos gravitacionais, os impactos da qualidade ambiental no comércio internacional e no investimento direto estrangeiro (IDE) em 14 países de origem e 39 países anfitriões em 6 acordos comerciais regionais (ACRs) (UE, NAFTA, ASEAN, Mercosul, AMU e EUROMED), no período 1990-2011. Além disso, os autores utilizam sistemas de equações simultâneas de modelos gravitacionais para investigar as ligações bidirecionais entre comércio e IDE na presença de degradação ambiental. Conforme os autores, as principais conclusões sugerem que o impacto da degradação ambiental no comércio é negativo e significativo apenas para a estimativa estática. No entanto, o impacto da degradação ambiental no IDE é negativo e insignificante para estimativas estáticas e dinâmicas. Os resultados também mostram que existe uma relação causal unidirecional que vai do comércio ao IDE.

Santos et al. (2017) publicaram um estudo onde, através do modelo gravitacional, estimaram e analisaram as restrições comerciais no mercado internacional de algodão. A análise deste estudo envolveu um painel com o comércio bilateral entre 14 países no período de 1996 a 2015. As conclusões apontaram que, mesmo com a maior vulnerabilidade devido às oscilações no comércio de algodão com a liberalização, foi registrada uma taxa de crescimento maior do comércio após a eliminação das cotas de importação, principalmente, nos países menos desenvolvidos e em desenvolvimento, comparado ao período em que essas medidas não eram vigentes, reforçando os efeitos positivos da abertura comercial e da maior integração econômica. Ou seja, as medidas técnicas contribuíram para o aumento da transparência permitindo avanços no comércio. Contudo, segundo o estudo, as tarifas ainda são prejudiciais aos países mais pobres. Assim, torna-se necessário implementar políticas comerciais que reduzam as barreiras para que os países menos desenvolvidos possam competir de forma justa e continuar ganhando participação no mercado internacional de algodão.

Arce e López (2018) realizaram um estudo voltado ao comércio bilateral entre o Paraguai e Estados Unidos, no período de 1994-2016. Através da aplicação de diversos métodos, entre eles, o modelo gravitacional, verificou-se que a distância, a diferença de línguas e a situação geográfica do Paraguai poderiam afetar o comércio bilateral. O modelo estimado tem os sinais esperados. Por exemplo, também é possível notar que o produto do PIB *per capita* do Paraguai e dos Estados Unidos tem um sinal positivo, coeficiente que indica que quanto maiores as economias, mais elas tenderão a atrair-se.

Balistreri et al. (2018) em seu estudo quantificam a sensibilidade estrutural dos efeitos competitivos, os resultados ambientais (vazamento de emissões) e as implicações no bem-estar desencadeadas pela regulamentação das emissões sub-globais. Apresentam-se diversas especificações de comércio alternativas, sendo a estrutura de Melitz a mais adequada neste estudo, juntamente com a aplicação da noção de firmas heterogêneas a setores negociáveis com uso intensivo de energia. De acordo com os autores, encontraram-se diferenças significativas nos impactos econômicos nessas estruturas e apresentaram sensibilidade às conclusões das políticas. Com relação ao debate internacional sobre política climática e compartilhamento do ônus, conforme os autores, a conclusão mais importante obtida foi que a estrutura de Melitz empiricamente atraente indica uma mudança qualitativa nos impactos no bem-estar dos países fora da coalizão de redução. Os efeitos competitivos na estrutura de Melitz são intensificados por mudanças de produtividade. Assim, os autores concluem que a estrutura de Melitz indica aumentos substanciais de bem-estar nos países que não são da coalizão que exportam bens intensivos em energia. Além disso, para os autores, a implementação da estrutura de Melitz como uma inovação importante merece consideração na análise de simulação aplicada da política climática, ajudando a colocar a tomada de decisão em uma base mais informada.

Dada a escassez de pesquisas acerca dos determinantes do comércio internacional de bens ambientais, Cantore e Cheng (2018) realizaram um estudo baseados na classificação da OCDE de bens ambientais. Conforme a definição da OCDE: “O setor de bens e serviços ambientais consiste em atividades que produzem bens e serviços para medir, prevenir, limitar, ameaçar ou corrigir danos ambientais à água, ar e solo, além de problemas relacionados a resíduos, ruídos e ecossistemas. Isso inclui tecnologias, produtos e serviços mais limpos que reduzem o risco ambiental e minimizam a poluição e o uso de recursos”. A fim de preencher essa lacuna na literatura empírica, adotaram um modelo gravitacional, usando dados comerciais ao longo de um período de 15 anos, de 1999 a 2014, em 71 países. O principal resultado

alcançado pelo estudo, de acordo com os autores, é que a capacidade de inovação e o rigor regulatório ambiental são determinantes fundamentais do comércio de bens ambientais. A partir do estudo, os autores fornecem evidências de que: 1) é provável que o comércio internacional de bens ambientais seja promovido pelo aumento da capacidade de inovação e 2) existe um efeito de substituição entre o rigor regulatório ambiental e o comércio de bens ambientais. De acordo com a literatura empírica sobre os modelos gravitacionais tradicionais, os laços culturais, a proximidade geográfica e a incerteza financeira também desempenham um papel.

A fim de analisar os Acordos de Livre Comércio (ALC) e o meio-ambiente para um desenvolvimento sustentável, Yao et al. (2019) fizeram uso da aplicação de um modelo gravitacional. Em seu estudo, os autores objetivaram verificar se o comércio é bom ou ruim para os ambientes de países vinculados à acordos comerciais. Assim, examinaram o impacto dos ALCs nas emissões bilaterais de carbono dentro do modelo gravitacional. De acordo com os autores, tem-se um impacto positivo dos acordos de ACL na poluição bilateral de CO₂. No entanto, em uma análise de grupo de países com base na renda, tem-se evidências mistas sobre os ALCs. A análise relativa aos países de alta renda indica que os ALCs são benéficos para estes países, enquanto, no caso dos países de renda média alta e média baixa, verificaram que os acordos de livre comércio não são benéficos para seus ambientes. Esses resultados dos efeitos dos ALCs na poluição bilateral de CO₂ implicam que os países de baixa renda tenham um efeito poluidor maior, mesmo após a implementação de um ALC devido a padrões ambientais indulgentes. Assim, os autores concluem que é necessário que os países em desenvolvimento aprendam com os países de alta renda, pois seus ALCs são eficazes para diminuir a poluição.

Ao trazer referido tema ao contexto brasileiro, tem o trabalho de Fonseca e Ribeiro (2004), que buscaram explicar a degradação ambiental nos estados do Brasil entre 1985 e 2000. O modelo utilizado estabeleceu uma relação entre o percentual de áreas preservadas e o logaritmo da renda *per capita*, o logaritmo da escolaridade média, uma *proxy* para participação social (percentual de votos brancos e nulos) e o índice de Gini. As estimativas dos autores indicaram a importância da renda *per capita* em polinômio e da escolaridade como determinantes na extensão da proteção ambiental. Contudo, a medida de capital social e a desigualdade, não afetaram significativamente a variável dependente. Além disso, os coeficientes significativos foram como esperados, indicando a presença de uma CKA para os estados brasileiros.

Entre os trabalhos que abordam a questão do crescimento econômico e da degradação ambiental por meio da modelagem econométrica para o Brasil estão o de Pao e Tsai (2011) e Cunha e Scalco (2013). O período de análise dos dois estudos é similar e compreende os anos entre 1980 e 2007. O estudo de Cunha e Scalco (2013) considera somente a variável renda e seu termo ao quadrado, enquanto o trabalho de Pao e Tsai (2011) acrescenta uma variável ao modelo, o consumo de energia no país. Quanto aos resultados, ambos os estudos chegam à conclusão de que não há evidências de uma CKA para o Brasil e que o consumo de energia é mais importante para explicar as emissões de CO₂ no país.

Visando o comércio internacional com uma perspectiva ambiental, Padrão et al. (2015) elaboraram um estudo com o objetivo de analisar os efeitos exercidos pela regulação ambiental praticada pela OCDE sobre as exportações de grãos brasileiros, à luz da hipótese de *pollution haven*¹ e por meio do modelo gravitacional. Os resultados mostraram que a regulação ambiental mais restritiva praticada pelos países da OCDE tende a intensificar a exportação brasileira dos grãos, avaliando as diferentes categorias de política ambiental. Tais resultados vão de encontro às demandas internacionais com relação ao avanço da regulação ambiental dos países. Além disso, os autores salientam que apesar de a regulação brasileira possuir destaque quanto ao seu desenvolvimento e pelo grau de especificidade com que trata os diversos problemas ambientais e manejo dos recursos naturais, esta ainda é ineficiente no combate aos efeitos das atividades produtivas sobre o meio ambiente.

Castro et al. (2018) publicaram um estudo onde buscaram mostrar os determinantes das emissões de CO₂ no Brasil para o período 1971-2011. Para os autores, de acordo com a revisão de literatura, grande parte dos estudos que tratam da relação entre crescimento econômico e meio ambiente buscam estabelecer relações de longo prazo entre PIB e degradação ambiental, à luz do arcabouço teórico da hipótese da CKA. Partindo desta mesma base teórica, o estudo adota em sua análise um período temporal mais extenso e um modelo econométrico com algumas variáveis adicionais que podem ser importantes para explicar as emissões de CO₂ no Brasil. A degradação ambiental é mensurada pelas emissões *per capita* de dióxido de carbono e as variáveis adicionais inseridas no modelo são o consumo *per capita* de energia, o grau de abertura da economia e a quantidade de habitantes por quilômetro quadrado. Além disso,

¹ Porto de poluição. Caracteriza a produção e exportação de um bem “sujo” de um país em desenvolvimento para um país desenvolvido, em função das altas taxas de poluição cobradas nos países desenvolvidos (PADRÃO et al., 2015).

acrescentou-se uma *dummy* exógena, a fim de verificar a influência do Protocolo de Kyoto sobre o nível das emissões brasileira. A partir do modelo estimado, os autores concluíram que a relação entre crescimento econômico e poluição ambiental no Brasil possui o formato de um “N”, ainda existem algumas limitações que são inerentes à teoria da CKA.

De maneira geral, percebe-se que os estudos de CKA apresentam resultados heterogêneos. A maioria dos autores apontam, através dos indicadores de poluição utilizados, para evidências da curva no formato de “U” invertido, como no Brasil, foi o caso de Fonseca e Ribeiro (2004). Entretanto, os pontos de inflexão das curvas variaram bastante, com intervalos de níveis de renda per capita entre US\$ 3.000 e US\$ 11.000, aproximadamente (CASTRO et al., 2018).

Ainda acerca da aplicação do modelo gravitacional ao contexto brasileiro, recentemente, Silva e Matos (2019) mensuraram como o grau de desenvolvimento financeiro do Brasil e dos principais parceiros comerciais afetou o valor exportado pelo país; quantificar a relação entre dependência financeira de setores selecionados, grau de desenvolvimento financeiro e o valor exportado pelo Brasil em cada setor. A análise foi realizada por meio da estimação do modelo gravitacional, utilizando efeitos fixos. De maneira geral, os resultados indicaram que o desenvolvimento financeiro brasileiro não é importante estatisticamente para determinar as suas exportações. Contudo, quando se analisou o grau de dependência financeira dos setores, encontrou-se relação positiva e significativa entre o desenvolvimento financeiro nacional e o valor exportado, confirmando a hipótese de que o bom funcionamento do sistema financeiro exerce maior influência nas exportações dos setores mais dependentes de capital externo.

A partir da apresentação da temática, referências e revisão bibliográfica acerca do Modelo Gravitacional, o capítulo seguinte apresenta a metodologia utilizada no estudo. A aplicação da metodologia se deu a partir da seleção de variáveis relacionadas ao tema e fundamentadas pela literatura, que foram empregadas ao método de estimação escolhido.

4 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada no estudo que foi de natureza exploratória, com coleta e análise de dados secundários, aplicados à um modelo teórico e econométrico. Pretendeu-se realizar a aplicação econométrica através da estrutura de dados em painel, estimando-se assim, a partir do modelo gravitacional (MG), o modelo proposto para a presente pesquisa.

A aplicação de dados em painel e das abordagens dos efeitos fixos e dos efeitos aleatórios no processo de estimação dos MG está cada vez mais recorrente na literatura econômica. Assim, este capítulo destina-se a apresentar o modelo utilizado para avaliar o comércio da soja brasileira com a União Europeia (UE) e suas implicações climáticas, bem como os procedimentos econométricos e a base de dados utilizada no estudo.

4.1 O MODELO GRAVITACIONAL

Genericamente, a equação gravitacional assume que os fluxos de comércio entre dois países i e j depende de cinco fatores: o PIB dos países, a população dos países e a distância entre eles. Os aprimoramentos mais usuais relativos ao modelo, expõem o tratamento em relação às dificuldades do comércio, sejam elas naturais ou artificiais. As dificuldades naturais geralmente estão ligadas ao fator distância e aos custos de transação e transporte, enquanto as artificiais se relacionam, principalmente, às políticas de comércio e ao relacionamento histórico entre as nações.

Partindo disto, a formulação básica do modelo é dada por:

$$\ln m_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_i + \beta_2 \ln \left(\frac{Y_i}{N_i} \right) + \beta_3 \ln Y_j + \beta_4 \ln \left(\frac{Y_j}{N_j} \right) + \beta_5 \ln dist_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

Onde:

m_{ij} : representa o comércio bilateral entre os países i e j , ou seja, as importações ou exportações nominais ou a soma de ambas;

Y_{ij} : PIB nominal dos países i e j ;

N_{ij} : população dos países i e j ;

$dist_{ij}$: distância entre os países i e j ;

ε_{ij} : erro.

Devido à constante mudança das circunstâncias nas quais o comércio global pode se encontrar, o modelo tem sofrido constantes alterações, a fim de aumentar seu poder explicativo.

Vários são os fatores que influenciam os fluxos de comércio e, por este motivo, alguns autores têm incluído na equação básica outras variáveis com o intuito de melhorar os seus resultados, a exemplo dos estudos de Bergstrand (1985) e Anderson e Van Wincoop (2003).

Com a evolução e aprimoramento dos modelos, as *dummies* passaram a integrá-los. As *dummies* consistem em variáveis qualitativas, que geralmente indicam ausência ou presença de uma qualidade ou atributo. Elas têm sido inseridas para verificar se certas características, que determinado país possua, gerem impactos no seu comércio em detrimento de países que não as possuam. Espera-se que fatores como idioma, adjacência e origem de colonização, quando semelhantes, sejam benéficos ao comércio entre os países.

Relativo ao uso do modelo gravitacional no estudo dos efeitos causados pela formação dos blocos econômicos, Aitken (1973) foi um dos primeiros a usar o modelo gravitacional de Linnemann com o objetivo de avaliar o impacto da criação de um Acordo Preferencial de Comércio (APC) no fluxo de comércio. Para isso, inseriu variáveis *dummies* na equação gravitacional para representar a Comunidade Econômica Europeia (CEE) e a Associação Europeia de Livre Comércio (EFTA). A inserção dessas variáveis no modelo gravitacional possibilita apresentar o comércio “normal” entre dois países sem a presença de um APC, enquanto a variável *dummy*, relacionada ao APC, capta o comércio que pode ser atribuído, exclusivamente, à sua criação. Do mesmo modo, Frankel et al. (1995) incluem em seus modelos variáveis *dummies* para países que participem tanto de APCs formais quanto informais, situação que inclui o Brasil atualmente.

Segundo Matyas (1997), a especificação mais correta da equação gravitacional seria através do uso de dados em painel e efeitos fixos (EF). Esta, por sua vez, se daria através de um modelo de três vias: a) uma para as características não observadas do exportador; b) outra para as características não observadas do importador; e c) a última para características não observadas, específicas do tempo t .

Analisados os modelos em suas formas básicas, outro ponto fundamental é entender o comportamento das variáveis envolvidas e as relações econômicas entre si, o que, na avaliação dos resultados, será de suma importância na compreensão dos coeficientes obtidos. Inicialmente, tem-se que o potencial exportador de um país é dependente do PIB e da razão do volume de produção para exportar em relação ao volume de produção total do país, o que, por sua vez, tende a variar de acordo com a população e fundamenta-se em teorias como das economias de escala e da dotação de fatores (WANG e WINTERS, 1992). Também é assumido

que países grandes e ricos têm maior tendência ao consumo de importados, o que implica que o PIB e o PIB *per capita* dos países são válidos como medidas de tamanho e riqueza. Analisando-se pelo lado da importação, uma renda maior implica maior demanda, enquanto uma maior população sugere uma maior autossuficiência. Assim, a população tende a assumir um efeito negativo na abertura de um país; vistas as relações entre população e área geográfica; área geográfica e dotação de fatores, e pelos efeitos originados pelas economias internas de escala. Por outro lado, devido aos fatores riqueza e desenvolvimento, espera-se que o PIB *per capita* tenha um impacto positivo no comércio. Na análise da variável distância, espera-se que ela tenha impacto negativo nos fluxos comerciais, ou seja, utilizada como uma resistência fundamental ao comércio.

De acordo com Eichengreen e Irwin (1998), os coeficientes das principais variáveis do modelo gravitacional assumem, como resultados esperados:

- Positivo para o coeficiente do PIB *per capita* do país importador e da elasticidade-renda da demanda do país importador;
- Positivo para o coeficiente do PIB total do país importador, por refletir o efeito de tamanho;
- Geralmente, positivo para o coeficiente do PIB *per capita* do país exportador, pois este deve ser pensado como uma medida de nível de produção do país exportador, o que estaria relacionado com a relação capital/trabalho deste país;
- Positivo para o coeficiente do PIB total do país exportador, pois este sugere o quão vasta pode ser a variedade de produtos que o país tem a oferecer;
- Negativo para o coeficiente da variável distância, visto que seu efeito deve ser considerado que quanto maior distância, maior o custo relativo dos produtos, implicando como inibidor do comércio.

Com um enfoque ambiental, analisado através do modelo gravitacional, Folfas et al. (2011) utilizaram em seu modelo, fluxos bilaterais de comércio internacional entre todos os países do mundo, com base em dados referentes às exportações do país (*i*) para o país parceiro (*j*). A amostra abrangeu o período 1995-2009 e, o modelo gravitacional foi estimado em termos de logaritmos (ln). Na equação (8), tem-se o modelo base do estudo (FOLFAS et al., 2011):

$$\ln X_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{it} + \alpha_2 \ln GDP_{jt} + \alpha_3 \ln D_{ijt} + \beta Z_{ijt} + c_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad (8)$$

Onde:

i, j, t: país de referência, país parceiro e ano, respectivamente;

X_{ijt} : exportações do país i para o país j no ano t ;

$GDP_{i(j)t}$: Produto interno bruto do país i (j) no ano t ;

D_{ijt} : distância geográfica entre os centros econômicos do país i e do país j ;

Z_{ijt} : vetor de outras variáveis que determinam o comércio internacional bilateral;

c_{ij} : efeito específico de um comércio bilateral;

ε_{ijt} : termo de erro.

Considerando-se o objetivo do referido estudo (FOLFAS et al., 2011), o qual era a análise das emissões de CO₂, os autores adicionaram à sua estimação, variáveis relacionadas à poluição ambiental, mais precisamente, emissões de CO₂, além de demais variáveis econômicas e culturais. Na equação (9), tem-se o modelo estimado especificamente por Folfas et al. (2011) para o seu estudo.

$$\ln X_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{it} + \alpha_2 \ln GDP_{jt} + \alpha_3 \ln D_{ijt} + \beta_1 \ln(gdp_{it} - gdp_{jt}) + \beta_2 \text{CommonBorder}_{ij} + \beta_3 \text{FTA}_{ijt} + \beta_4 \text{Language}_{ij} + \beta_5 \text{Volatility}_{ijt} + \beta_6 \ln(CO2_{it} - CO2_{jt}) + \beta_7 \text{CarbonLeakage}_{ijt} + \beta_8 \text{EUCarbonLeakage}_{ijt} + c_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad (9)$$

Onde:

X : Exportações, em dólares correntes;

GDP : Produto interno bruto, em dólares correntes;

D : Distância geográfica entre as capitais, em km;

Gdp : Produto interno bruto *per capita*, em dólares correntes;

$CommonBorder$: *Dummy* com valor 1 se há fronteira comum entre os países e zero, caso contrário;

FTA : *Dummy* que indica se os países fazem parte de um acordo de livre comércio;

$Language$: *Dummy* com valor 1 se ambos os países possuem mesma língua oficial e zero, caso contrário;

$Volatility$: Volatilidade da taxa de câmbio entre os países;

$CO2$: Emissões de CO₂ *per capita* (kg);

$CarbonLeakage$: *Dummy* com valor 1 se a emissão *per capita* de CO₂ é maior no país i do que no país j no período t e 0, caso contrário;

$EUCarbonLeakage$: *Dummy* com valor 1 se a emissão *per capita* de CO₂ é maior no país i do que no país j , no ano t e o parceiro comercial pertence a UE no período t e 0, caso contrário;

c_{ij} : efeito específico de um comércio bilateral;

ε_{ijt} : termo de erro.

Desse modo, a partir da literatura especializada (FOLFAS et al., 2011) e seguindo primordialmente a equação gravitacional de Bergstrand (1985), com algumas adaptações ao tema, para o presente estudo, objetiva-se estimar o seguinte modelo:

$$\ln exp = \alpha_0 + \alpha_1 \ln pib1 + \alpha_2 \ln pib2 - \alpha_3 \ln dist + \alpha_4 \ln camb + \alpha_5 \ln sim + \alpha_6 \ln CO_21 + \alpha_7 \ln CO_22 + u \quad (10)$$

Onde:

$\ln exp$: volume de exportações;

$\ln pib1$: PIB região 1;

$\ln pib2$: PIB região 2;

$\ln dist$: distância geográfica entre as regiões;

$\ln camb$: taxa de câmbio;

$\ln sim$: índice de similaridade;

$\ln CO_21$: emissão de CO₂ pela produção agrícola da região 1;

$\ln CO_22$: emissão de CO₂ pela produção agrícola da região 2.

Nesta perspectiva, como uma renda maior pode aumentar o fluxo de comércio, espera-se que α_1 e α_2 tenham sinais positivos (WANG e WINTERS, 1992; EICHENGREEN e IRWIN, 1998). Ou seja, quanto mais elevadas às rendas dos países exportadores e importadores, mais estes tendem a engajar-se no comércio internacional e, portanto, maior o fluxo de comércio bilateral entre as regiões. A distância representa fatores de resistência ao comércio, representando um vetor de custos de transporte (WANG e WINTERS, 1992; EICHENGREEN e IRWIN, 1998). Dessa forma, espera-se um sinal negativo do coeficiente α_3 .

A consideração dos vetores de preços é fundamental para a análise de comércio internacional, uma vez que segundo Bergstrand (1985), a omissão de variáveis de preços pode tornar a equação gravitacional mal especificado. Anderson e Wincoop (2003) mostraram que a não consideração dos efeitos dos preços relativos nos padrões de comércio tem duas implicações importantes: (i) os resultados de estimação são tendenciosos em função do viés das variáveis omitidas; e, (ii) não se pode realizar exercícios de estática comparativa, mesmo que esta seja o propósito de estimação dessas equações.

Assim, considerando os preços relativos, quando α_4 a taxa de câmbio aumenta, se diz que há depreciação (apreciação) da moeda do país exportador i (importador j). Uma depreciação, portanto, sugere que o país i está aumentando suas exportações para o país j ,

ceteris paribus, de tal forma que se essa taxa tende ao infinito, implica que o volume de exportações de i está aumentando indefinidamente. Por outro lado, se a taxa de câmbio tende a zero, as exportações do país i para o país j são insignificantes.

O índice de similaridade de renda incluído no modelo consiste em uma *proxy* para similaridade de renda (Arelanes et. al, 2009). Com o intuito de mostrar o tamanho relativo de cada país em relação aos seus PIBs, espera-se que seu sinal seja positivo. Desse modo, verifica-se que as similaridades entre as rendas contribuem positivamente ao comércio. O índice é obtido através da equação 11, onde o PIBbr representa o PIB do Brasil no ano t e o PIBue o PIB da UE no tempo t .

$$lnsim = \ln \left[\left(\frac{PIBbr}{PIBbr + PIBue} \right)^2 - \left(\frac{PIBue}{PIBbr + PIBue} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Quanto aos coeficientes α_6 e α_7 , os sinais esperados podem ser ambíguos. Conforme a Curva Ambiental de Kuznets (CKA), a degradação ambiental se expande com o crescimento econômico até que, ao atingir um dado nível de renda per capita, a qualidade dos indicadores ambientais evolui, possibilitando que a relação entre a dimensão econômica e ambiental passe a exibir um formato de “U-invertido” (GROSSMAN E KRUEGER, 1991). Assim, uma vez que uma maior emissão no país i pode representar um maior fluxo de exportações e políticas ambientais mais flexíveis. Uma menor emissão pelo país j pode representar que o mesmo apresenta políticas ambientais mais rígidas, situação apresentada por nações desenvolvidas.

4.2 O MODELO GRAVITACIONAL EM DADOS DE PAINEL E TESTES ECONOMÉTRICOS

Considerando o fato de a heterogeneidade não ser provável em modelos gravitacionais, alguns métodos que consideram esses efeitos são geralmente preferidos. Conforme Harris e Mátyás (1998), ignorar as heterogeneidades pode levar a sérios problemas, tais como os de mal especificação do modelo econométrico, mal interpretação e viés nas estimativas dos parâmetros.

No presente estudo, foi estimado o modelo gravitacional com base nos dados em painel. Isso porque, convencionalmente a equação gravitacional é estimada com este tipo de dados e, além disso, segundo Greene (2007), a principal vantagem de dados em painel é que eles permitem ao pesquisador grande flexibilidade em modelar diferenças no comportamento entre os indivíduos e fornecem um ambiente extremamente rico para o desenvolvimento de técnicas

de estimação e de análise de resultados teóricos. Hsiao (2003) argumenta que os conjuntos de dados em painel na pesquisa econômica possuem várias vantagens sobre os conjuntos de dados *cross-section* ou dados em séries temporais, separadamente. Isso porquê os dados em painel dão ao pesquisador um grande número de pontos de dados, geram aumento nos graus de liberdade e reduzem a colinearidade entre os regressores e, por consequência, melhoram a eficiência da estimativa econométrica (HSIAO, 2003).

4.2.1 Dados em Painel

O método de dados em painel representa um estudo do movimento ao longo do tempo, tendo assim duas dimensões, a espacial e a temporal. Desse modo, os dados em painel representam combinação de unidades *cross-section* e de séries temporais (GREENE, 2007). Considerando-se a utilização de dados econômicos reais, possivelmente depara-se com ausência de algumas observações. Neste sentido, os dados em painel são geralmente caracterizados em dois tipos: (i) painel não balanceado e (ii) painel balanceado.

Um painel não balanceado consiste em um painel com falta de dados em pelo menos um período de tempo, para pelo menos um indivíduo (STOCK e WATSON, 2004). De acordo com Greene (2007), se ocorrer o problema de *missing observations*, as observações completas na amostra ainda constituem um conjunto de dados utilizáveis, mas o único problema é que informações úteis possivelmente poderiam ser recuperadas a partir das observações incompletas, de modo a evitar o viés no estimador. Neste caso, conforme sugere Greene (2007), quando se depara com observações faltantes numa regressão, deve-se considerar e separar casos de regressões simples e múltiplas.

Em geral, têm-se dois métodos de resolver o problema de *missing observations*. O primeiro é o método de ordem zero, que consiste em preencher as colunas faltantes pela média dos regressores, ou seja, excluir essas colunas. Contudo, este método torna o R^2 relativamente baixo. O segundo método é chamado de regressão de ordem zero modificado, o qual preenche a segunda coluna dos regressores com zero e adiciona uma variável que toma o valor zero para observações completas, e um para observações faltantes.

Por outro lado, depara-se com um painel balanceado quando o *missing observations* não se verifica. Um painel balanceado inclui todas as observações para todos os indivíduos e para todo o horizonte de tempo em que os dados são organizados. Assim, um painel balanceado tem a vantagem de eliminar a necessidade de se recorrer ao método de ordem zero ou ao de regressão

de ordem zero modificado, capazes de influenciar no comportamento do R^2 e, portanto, no comportamento da variável explicada em relação à influência conjunta das explicativas.

Considerando a análise de dados em painel, tem-se três técnicas mais utilizadas, são elas: abordagem de Efeitos Fixos (FE, *fixed effects*); abordagem de Efeitos Aleatórios (RE, *random effects*); método *pooled*. A seguir, apresenta-se as referidas técnicas.

4.2.1.1 Efeitos Fixos

O modelo de efeitos-fixos, também chamado de Modelo de Mínimos Quadrados com Variáveis *Dummy* (ou LSDV, *Least Square Dummy Variable*), constitui-se de uma generalização do modelo constante-intercepto-inclinação para dados de painel. O modelo introduz *dummies* para mensurar os efeitos das variáveis omitidas, que são específicas para unidades *cross-section* individuais, mas permanecem constantes ao longo do tempo, e os efeitos que são específicos para cada período de tempo são iguais para todas as unidades *cross-section*. Portanto, os coeficientes estimados são iguais para todas as unidades *cross-section*, exceto o parâmetro individual fixo no tempo.

Simplificadamente, o modelo pode ser expresso por:

$$y_{ij} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + v_{it} \quad (11)$$

Onde:

$\alpha_i = \alpha + \mu_i$, para todo t , sendo μ_i fixo no tempo;

μ_i : concentra as diferenças individuais, ou a heterogeneidade entre as unidades de corte;

K : é o número de variáveis explicativas incluídas no modelo de regressão;

v_{it} : termo de perturbação estocástica, independente identicamente distribuído $v_{it} \sim IID(0, \sigma_v^2)$;

x_{it} : são assumidos ser independente de v_{it} para todo i e t .

Assim, os efeitos individuais podem ser livremente correlacionados com os demais regressores. Essa estimação consiste na própria estimação de um modelo de regressão múltipla, com variáveis binárias para cada uma das N unidades de análise, tal que, o acréscimo destas variáveis faz com que o intercepto da regressão seja diferente para cada uma destas unidades e capte as heterogeneidades existentes entre elas. O estimador de MQO será um estimador consistente e eficiente do modelo e, é chamado de LSDV (*Least Squares Dummy-Variable Model*).

Para Cameron e Trivedi (2009), o termo “efeitos fixos” dá uma ideia enganosa de modelagem, pois em ambas as modelagens, efeitos fixos e efeitos aleatórios, a nível individual

os efeitos são aleatórios. No entanto, o modelo de efeitos fixos tem a complicação adicional de que os regressores podem ser correlacionados com os efeitos do nível do indivíduo, de modo que a estimativa consistente da regressão requer eliminar ou controlar os efeitos fixos.

Greene (2007) destaca que a formulação de efeitos fixos implica que diferenças entre grupos podem ser capturadas nas diferenças no termo constante. Cada i é tratado como um parâmetro desconhecido a ser estimado. Assim, para o autor, o modelo de efeitos fixos apresenta uma “deficiência”: qualquer variável invariante no tempo em x_{it} , irá simular o termo constante específico indivíduo, de tal modo que os coeficientes sobre variáveis invariantes no tempo não podem ser estimados. Lélis (2010) salienta que em modelos de dados de painel que utilizam países como unidade de corte, dá-se conta de apreender características como fatores geográficos, recursos naturais, entre outros. Segundo o autor, estes fatores se alteram entre os países, e não ao longo do tempo. Dessa forma, não se pode adicionar variáveis que não se alterem substancialmente no tempo entre os regressores do modelo sugerido, pois isso possibilitaria a presença de multicolinearidade perfeita entre essas variáveis e o efeito fixo.

4.2.1.2 Efeitos Aleatórios

A especificação do modelo de efeitos aleatórios pressupõe que o comportamento dos períodos de tempos é desconhecido, não podendo ser observado, nem medido. Assim, em amostras longitudinais de grande dimensão, pode-se sempre representar estes efeitos individuais ou temporais específicos sob a forma de uma variável aleatória normal.

No modelo de efeitos aleatórios, a heterogeneidade não é introduzida através do termo independente, logo através de $E(y_{it})$, mas sim através da variância da variável endógena. Uma especificação geral pode ser:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + \mu_i + v_{it} \quad (12)$$

O modelo de efeitos aleatórios incorpora o termo de erro composto $u_{it} = \mu_i + v_{it}$. Onde $\mu_i \sim IDD(0, \sigma_\mu^2)$ e $v_{it} \sim IDD(0, \sigma_v^2)$.

Determina-se que termo μ_i é independente do termo de erro tradicional v_{it} e, os regressores x_{it} também são independentes de μ_i e v_{it} para todo i e t . As hipóteses do modelo de dados em painel de efeito aleatório são:

1. $E(v_{it} / x_{it}, \mu_i) = 0$: a esperança dos resíduos condicional a x_{it} e μ_i é igual a zero, para todo i e t ;

2. $V(v_{it} / x_{it}, \mu_i) = \sigma_v^2 I_T$: a distribuição dos resíduos estimados é condicionalmente homocedástica e não serialmente correlacionada, para todo i e t , σ_v^2 representa a matriz variância e covariância dos resíduos idiossincráticos, e I_T a matriz identidade com dimensão $T \times T$;

3. $E(\mu_i / x_{it}) = 0$: μ_i é independente de x_{it} , para todo i e t ;

4. $V(\mu_i / x_{it}) = \sigma_\mu^2$: μ_i tem distribuição homocedástica, para todo i e t .

Dada a hipótese da exogeneidade estrita dos regressores para dados de painel, as estimações por MQO dos coeficientes produzem testes estatísticos não válidos, mesmo em grandes amostras, causado pela correlação temporal dos resíduos. O estimador de MQG (Mínimos Quadrados Generalizados) explora a estrutura da matriz de variância e covariância desses resíduos, tornando apta a sua aplicação em modelos de dados de painel (LÉLIS, 2010). Segundo Marques (2000), a estimação por MQO do modelo de efeitos aleatórios, ainda que permaneça centrado, consistente e assintoticamente normal, já não é eficiente atendendo a configuração da matriz de variância-covariância dos resíduos. O mesmo pode ser afirmado em relação à MQVD: permanece centrado, consistente, mas não será eficiente.

Ainda de acordo com Marques (2000), a estimação de modelos de efeitos aleatórios possuem algumas vantagens, como: capacidade para trabalhar com bases de dados de qualquer dimensão; o fato da inferência estatística aplicável ser uma mera derivação dos testes de hipóteses usuais; possibilidade de a maior parte dos problemas e dificuldades poderem ser resolvidos dentro do quadro econométrico tradicional; o fato de ser o modelo de dados de painel estudado com maior profundidade; facilidade com que são interpretados os resultados de estimação; e, o fato de ser pouco exigente em termos de *software* econométrico.

Na literatura econômica, não há um consenso que define qual o melhor método de estimação entre um modelo de dados de painel de efeitos fixos ou efeitos aleatórios. Lélis (2010) salienta que se deve levar em conta três pontos para a escolha da melhor especificação:

1. A natureza da amostra: se a amostra escolhida representa o total da população ou a extração amostral não se fez de maneira aleatória, o estimador de efeito fixo é o candidato natural;

2. O tipo de inferência: se o objetivo é produzir observações a respeito da amostra deve-se usar efeitos fixos, se a inferência diz respeito à população, o mais indicado é o estimador de efeitos aleatórios. De acordo com Baltagi (2005), o modelo de efeitos aleatórios é uma especificação apropriada se está se desenhando um painel com N indivíduos aleatórios de uma

grande população. Neste caso, o modelo de efeitos fixos conduziria a uma grande perda de graus de liberdade. Os efeitos individuais são caracterizados como aleatórios e a inferência pertence à população da qual a amostra foi retirada aleatoriamente;

3. O método estatístico: através da utilização do teste de Hausman, que objetiva definir o estimador mais apropriado para o modelo proposto.

Conforme Madalla (2001) enfatiza, a decisão de escolha deve levar em conta os dados em estudo: no caso do modelo gravitacional utilizando a técnica de dados em painel, deve-se preferencialmente optar pela estimativa com efeitos aleatórios. Para o autor, tal decisão se justifica pelo fato de que no modelo gravitacional as variáveis explicativas tradicionais do modelo podem ser constantes por unidade *cross-section*, como no caso da variável distância geográfica.

4.2.1.3 Método Pooled

A partir do seguinte modelo de regressão, apresentado por Greene (2007):

$$y_{it} = x'_{it}\beta + z'_i\alpha + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

Tem-se que: x'_{it} é o vetor que contém K regressores; $z'_i\alpha$ é a heterogeneidade individual; z_i é vetor que contém um termo constante e um conjunto de variáveis específicas individuais ou de grupo. Essas variáveis são constantes ao longo do tempo e podem ser observadas, ou não. As variáveis não observadas referem-se as características específicas dos países, como preferências ou gostos. Já as variáveis observadas incluem as culturas, as línguas, etc. Assim sendo, se conhecidas estas variáveis para todos os países, Greene (2007) argumenta que o modelo da equação (14) pode ser tratado como um modelo de regressão linear e pode ser estimado por MQO.

Pode-se chegar à regressão *pooled*, que assume que z_i da equação (13) contém apenas um termo constante, sem as variáveis de grupo observadas ou não observadas. De acordo com Cheng e Wall (2005), o modelo *pooled* impõe uma restrição adicional sobre o modelo geral. Segundo os autores, no modelo *pooled*, o vetor de parâmetros é o mesmo para todos os indivíduos ou grupos, embora normalmente, permita que os interceptos sejam diferentes ao longo do tempo.

4.2.2 Testes Econométricos

Com o intuito de verificar a consistência das estimativas obtidas através da aplicação econométrica, recorre-se aos testes estatísticos. Diversos autores apresentam contestações acerca de ambos os métodos: métodos *pooled*, efeitos fixos e efeitos aleatórios. Cheng e Wall (2005), por exemplo, afirmam que a estimação do modelo de gravidade de comércio utilizando o modelo *pooled* pode fornecer estimativas tendenciosas, pois o comércio é influenciado por muitos outros fatores não observados e associados às características dos países e que podem efetivamente influenciar nas estimativas.

Por outro lado, analisando o método de efeitos fixos, Cheng e Wall (2005) também explanam que a introdução de muitas variáveis *dummies* no modelo gravitacional pode gerar a redução do número de graus de liberdade e pode também gerar a multicolinearidade, que dificulta a estimação de alguns parâmetros do modelo. Ainda considerando o método de efeitos fixos, Kokko e Tingvall (2000) afirmam as preferências do país variam muito pouco no tempo e assim, utilizar os efeitos fixos significa estimá-las com erros padrões grandes. Além disso, como a distância é também uma variável do modelo invariante no tempo, para os autores, utilizar as regressões de efeitos fixos é o mesmo que ignorar os efeitos dessa variável na sua explicação, embora os estimadores de efeitos fixos permitirem que sejam mantidas as variáveis invariantes no modelo com número de regressores suficientes. Plumper e Troeger (2007) ainda argumentam que o método de FE tem duas principais desvantagens: (i) utiliza apenas a variância dentro e desconsidera a variância entre a estimativa, e (ii) não permite a estimativa de variáveis de tempo invariantes.

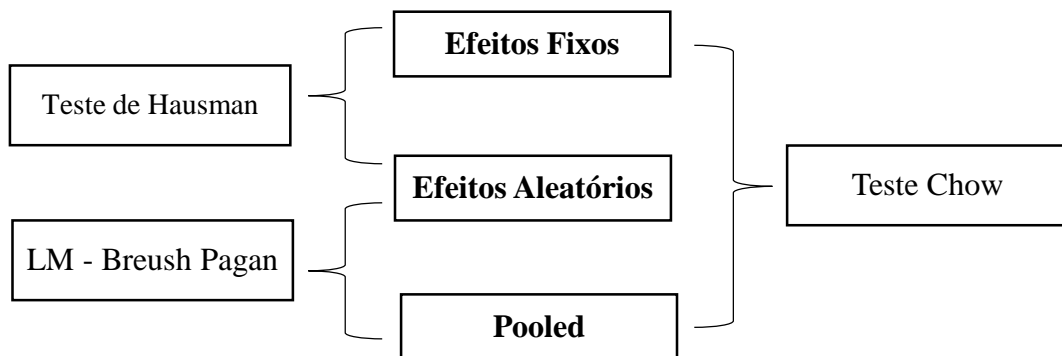
Examinando os efeitos aleatórios, onde os efeitos individuais não observados são não correlacionados com os regressores não tem justificativa forte. Greene (2007) argumenta que, em caso dos regressores terem alguma correlação com efeitos individuais não observados, o tratamento de efeitos aleatórios pode sofrer com inconsistência

Nesta perspectiva, primeiramente empregou-se o teste de Hausman, a fim de comparar-se os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios. O teste de Hausman considera sob a hipótese nula que o segundo (efeitos aleatórios) seja melhor que o primeiro (efeitos fixos). O teste consiste em um teste *qui-quadrado*, baseado no critério de Wald e, portanto, baseado nos vetores dos coeficientes e assenta-se na ideia de que é nula a covariância de um estimador eficiente com a sua diferença em relação a um estimador ineficiente (GREENE, 2007).

Com o intuito de comparar o modelo *pooled* com o modelo de efeitos aleatórios, realizou-se o teste Breusch-Pagan, baseado no multiplicador de Lagrange. O teste de Breusch-Pagan é empregado para testar a hipótese nula de que as variâncias dos erros são iguais (homocedasticidade) *versus* a hipótese alternativa de que as variâncias dos erros são uma função multiplicativa de uma ou mais variáveis. Se não existe heterocedasticidade, é de se esperar que os resíduos ao quadrado não aumentem ou diminuam com o aumento do valor predito e assim, a estatística de teste deveria ser insignificante.

Por fim, para comparar as estimações encontradas pelo modelo *pooled* e o modelo de efeitos fixos, analisa-se o teste Chow (WOOLDRIGE, 2002) A hipótese nula é de que há igualdade nos interceptos e nas inclinações para todos os indivíduos, caracterizando o modelo de dados agrupados (*pooled*). Na figura abaixo, é possível identificar os testes utilizados para fins de comparação entre dois métodos, até a escolha do método com melhor significância estatística, dentre os três analisados.

Figura 1 – Organograma das Regras de Decisão para o modelo a ser analisado neste estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Além dos testes de comparação dos métodos, existem demais informações que devem ser analisadas para a consistência da estimação. A autocorrelação serial e a heterocedasticidade são problemas estatísticos à serem investigados, pois podem causar ineficiência nos estimadores. Para tal, recorre-se aos testes de autocorrelação e heterocedasticidade dos resíduos. Quanto à heterocedasticidade, os testes mais frequentes são os de Goldfeld-Quandt, Park, Wald e o teste geral de White. O teste de Wald foi aplicado, verificando assim, a heterocedasticidade no efeito fixo. Caso os dados sejam heteroscedásticos, é necessário utilizar a correção pelo erro-padrão robusto para que os mesmos não sejam subestimados. A hipótese nula do teste é que os dados são homocedásticos e a hipótese alternativa que são heteroscedásticos.

De acordo com a literatura, o teste mais indicado para analisar-se a autocorrelação serial, tratando-se de dados em painel, é o teste de Wooldridge (1991). Conforme este teste, tem-se na hipótese nula que as séries do modelo em painel sejam não autocorrelacionadas de primeira ordem, enquanto a hipótese alternativa, é de que há autocorrelação serial de primeira ordem no modelo.

Após a escolha do método mais apropriado para a análise dos dados, prossegue-se à realização de alguns testes econométricos subsequentes. Novamente, estima-se a regressão com o método escolhido e, na sequência, testa-se sua consistência. A heterocedasticidade foi testada a partir da utilização do teste de Breusch-Pagan/Cook-Weisber e White, onde a hipótese nula é de homocedasticidade.

Com o propósito de reforçar as estatísticas obtidas, fez-se uso de testes de multicolinearidade. A multicolinearidade é um problema no ajuste do modelo que pode causar impactos na estimativa dos parâmetros (HAIR et al., 2005). Foram aplicados os testes VIF (Variance Inflation Factor) e TOL (Tolerance). Os VIFs medem o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado aumenta se seus preditores estão correlacionados. Se todos os VIFs forem 1, não há multicolinearidade, mas se alguns VIFs forem maiores do que 1, os preditores estão correlacionados. Quando um VIF é $5 > 10$, o coeficiente de regressão para esse termo não é estimado de maneira apropriada. Se a correlação de um preditor com outros preditores for quase perfeita, o termo não pode ser estimado. Os valores de VIF para termos que não podem ser estimados normalmente excedem a um bilhão.

4.3 NATUREZA DOS DADOS

A fim de estimar-se o modelo proposto na equação (11), foram coletadas oito variáveis:

$lnexp$ = volume de exportações de soja, em U\$\$;

$lnpibbr$ = PIB do Brasil, em U\$\$;

$lnpibue$ = PIB dos países da União Europeia (UE), em U\$\$;

$lnsim$ = Índice de similaridade

$lndist$ = distância geográfica entre Brasil e cada país da UE;

$lncamb$ = taxa de câmbio, em U\$\$;

$lnCO_2br$ = emissão de CO₂ pela produção agrícola do Brasil;

$lnCO_2ue$ = emissão de CO₂ pela produção agrícola da UE.

Os dados referentes a estas variáveis foram coletados a partir de fontes oficiais, disponíveis na internet, conforme a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Variáveis do modelo e suas respectivas fontes

Variável	Dado disponível	Sinal esperado	Fonte
<i>lnexp</i>	Valor das exportações de soja brasileira (US\$)		COMEXSTAT (MDIC)
<i>lnpibbr</i>	PIB corrente do Brasil (em milhões de US\$)	+	World Bank
<i>lnpibue</i>	PIB corrente dos países da UE (em milhões de US\$)	+	World Bank
<i>lnsim</i>	Índice de similaridade	+	Calculada a partir do PIB
<i>lndist</i>	Distância entre Brasil e o país de destino (em km)	-	CEPII
<i>lncamb</i>	Taxa de câmbio US\$/R\$	+	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)
<i>lnCO₂br</i>	Emissões líquidas de CO ₂ da área plantada de soja no Brasil (em gigagramas)	+/-	Food and Agriculture Organization (FAO)
<i>lnCO₂ue</i>	Emissões de CO ₂ pela produção agrícola da UE	+/-	Food and Agriculture Organization (FAO)

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Como *proxy* da exportação de soja brasileira para a União Europeia, foram analisados dados dos cinco maiores destinos da produção brasileira na UE. No ano de 2017, Holanda (36%), Espanha (18%), Alemanha (10%), Reino Unido (6%) e Itália (4%) foram responsáveis por importarem cerca de 74% do valor gerado pela exportação da soja do Brasil para o bloco europeu, por conseguinte, importaram no ano de 2017, 70% da soja brasileira exportada para a comunidade europeia (COMEXSTAT, 2020). Os produtos considerados para fins de determinar a exportação da soja foram selecionados de acordo com o Código SH4, são eles: Soja, mesmo triturada (1201); Óleo de soja e respectivas frações, mesmo refinados, mas não quimicamente modificados (1507); e, tortas e outros resíduos sólidos da extração do óleo de soja (2304).

A variável correspondente ao índice de similaridade indica a similaridade entre o PIB das duas regiões em análise. A variável deriva do índice de Jaccard, o qual aponta a proporção de espécies compartilhadas entre as amostras em relação ao número total de espécies. Neste caso, o índice foi calculado com o intuito de quantificar a similaridade entre o PIB brasileiro e o PIB europeu.

Em relação a variável câmbio, as cotações consideradas foram da taxa de câmbio comercial para compra real (R\$) /dólar americano (US\$) (média anual), disponibilizada pelo

IPEA, convertida para US\$. Os valores monetários referem-se aos preços correntes, visto que, como fluxos internacionais de comércio ou capital são medidos a preços correntes, o produto interno bruto a preços correntes é o mais apropriado (FOLFAS et al., 2011). Além disso, o presente estudo considerou a distância geográfica entre o Brasil e cada um dos quatro países selecionados, distância esta obtida através do CEPII. Acerca da utilização da variável distância como *proxy* aos custos de transportes, Beckerman (1956) argumenta que os países ocupam áreas bem amplas, de tal forma que o conceito de distância entre as áreas depende de várias considerações, entre elas: as distâncias entre as áreas como as distâncias entre os pontos mais próximos; entre os centros geométricos, ou ainda, as distâncias entre os seus centros de gravidade.

Todas as séries históricas do modelo estimado são anuais, de 1997 a 2017, período este delimitado pela limitação dos dados disponíveis. Além disso, o modelo foi estimado com as variáveis em logaritmos. A partir de tal, o processo de estimação se deu através da utilização do *software* estatístico *STATA10*, *software* pago, licenciado pelo Departamento de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Especificada a metodologia adotada no estudo e com base na literatura, a sequência do trabalho expõe os resultados. Primeiramente, contempla-se informações acerca do comércio internacional e os fluxos comerciais entre o Brasil e a UE. Por fim, têm-se as estimações e uma discussão acerca dos resultados encontrados.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo contempla uma análise da temática do estudo e discussão dos resultados obtidos. Inicialmente, a primeira sessão apresenta aspectos gerais acerca da produção agrícola brasileira, especialmente a exportação da principal *commodity* brasileira para a comunidade europeia.

Na segunda sessão busca analisar e discutir os resultados obtidos através do modelo econométrico. Primeiramente, a sessão traz os testes estatísticos preliminares, os quais comparam os modelos de Efeitos Fixos, Efeitos Aleatórios e *Pooled*. Em seguida, após a escolha do modelo *Pooled*, foram realizados testes para a certificação da consistência estatística. Por fim, foi feita a análise dos resultados, além de um comparativo com as referências encontradas na literatura.

5.1 O BRASIL E O COMÉRCIO INTERNACIONAL AGRÍCOLA

O comércio internacional, especialmente o agrícola, é de fundamental importância à economia brasileira. Além de ser fonte de recursos externos e alavancar os saldos na balança comercial, são fonte de renda para parcela significativa da população do país.

A seguir, apresenta-se uma análise descritiva acerca da inserção do Brasil no cenário mundial do comércio agrícola, sobretudo, da soja. A produtividade e a competitividade do país neste mercado merecem destaque. Já as exportações do país para a UE, objeto deste estudo, são enfatizadas na sequência, onde ressalta-se a importância desta relação bilateral através da apresentação de dados históricos.

5.1.1 A produção agrícola nacional e o cenário internacional

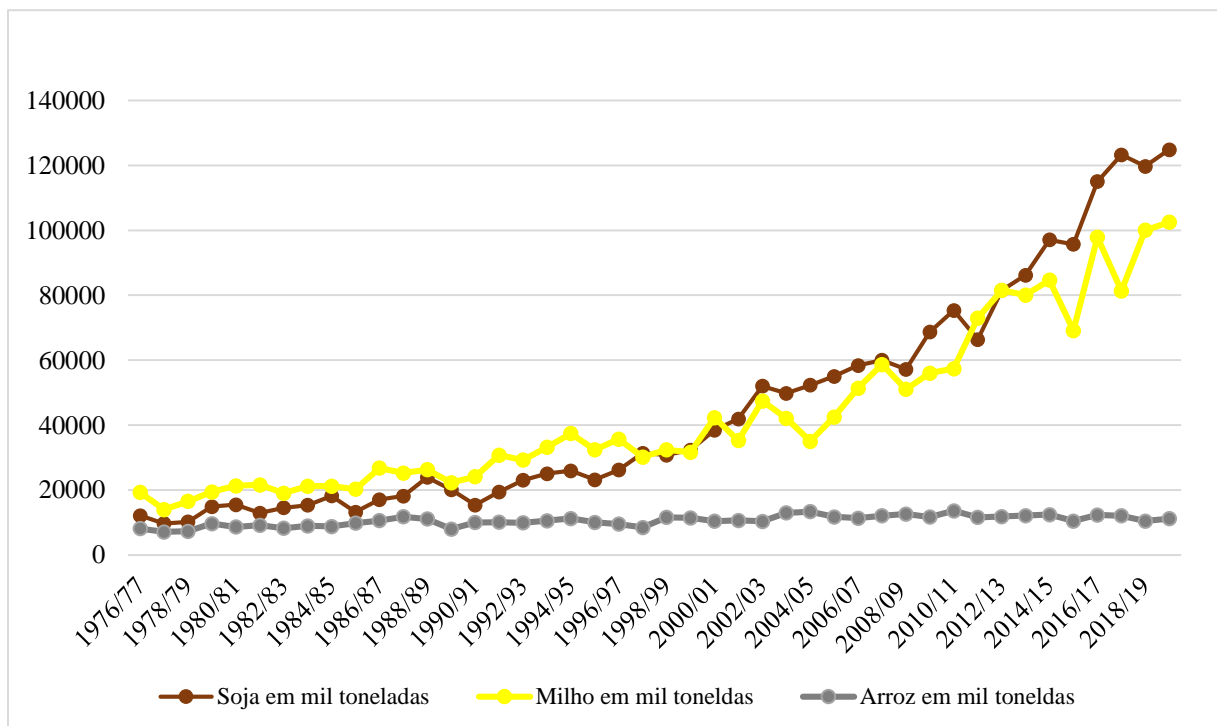
Nos últimos 40 anos, o Brasil saiu da condição de importador de alimentos para se tornar um grande provedor para o mundo. Foram conquistados aumentos significativos na produção e na produtividade agropecuárias. O preço da cesta básica, no Brasil, reduziu-se consideravelmente e o país se tornou um dos principais players do agronegócio mundial (EMBRAPA). Hoje, se produz mais em cada hectare de terra, aspecto importantíssimo para a preservação dos recursos naturais (EMBRAPA).

No Brasil, a Companhia Brasileira de Abastecimento (Conab) realiza o acompanhamento constante da safra de grãos, monitorando as condições de desenvolvimento das principais culturas do país, abrangendo os seguintes produtos: algodão, amendoim, arroz,

aveia, canola, centeio, cevada, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, trigo e triticale. Na Safra 2020/21, o Brasil deve ter uma produção recorde de acordo com a Conab (2020), com 268,7 milhões de toneladas de grão produzidos. Este volume é 4,2% maior do que a Safra 2019/20. Em relação a soja, a produção da Safra 2020/21 deve ficar em 133,7 milhões de toneladas (CONAB, 2020), o que mantém o Brasil como o maior produtor mundial da oleaginosa.

Na Figura 2, está representada a evolução da produção de soja no país em comparação ao milho e ao arroz, de 1976 a 2019. A partir do início dos anos 2000, aumento é claramente perceptível, sendo que a soja ultrapassa a produção nacional de milho. Esta evolução e permanência no topo é uma das consequências do surgimento da China no mercado internacional. O país teve um grande crescimento econômico em um curto espaço de tempo, demandando grandes quantidades de *commodities*, especialmente a soja brasileira, se tornando assim o maior importador do país.

Figura 2 - Produção de grãos no Brasil, em mil toneladas

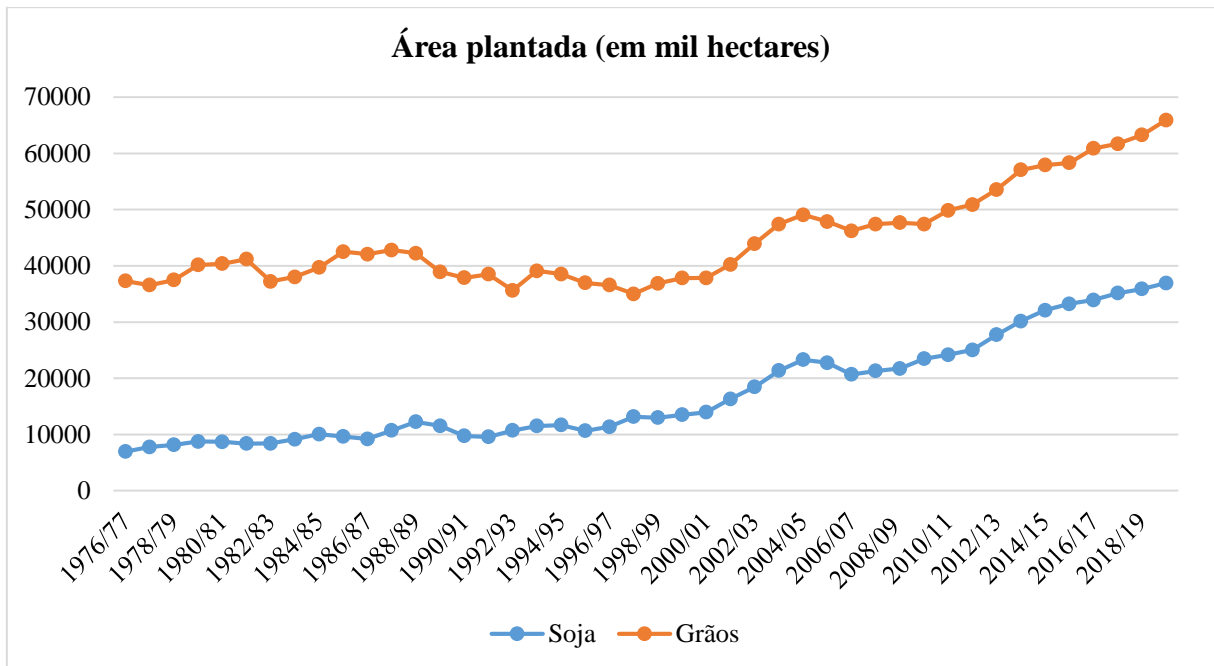


Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados da CONAB (2020).

A Conab (2020) também estima um crescimento de 1,3% na área cultivada de soja no Brasil. Movimento este que é notável ao longo dos anos, como mostra a série histórica de 1976-2019 ilustrada na Figura 3. Na Figura, tem-se a área plantada de soja no país confrontada com a área plantada do total de grãos contabilizados pela Conab, como milho, arroz, café, feijão e

trigo. Contudo, ao se analisar a Figura 2 e 3, conjuntamente, nota-se uma maior evolução histórica da produção da soja brasileira perante o aumento da área plantada. Fato este, justificado pelos avanços tecnológicos, frutos de pesquisas na área, que propiciam uma maior produtividade por hectare plantado.

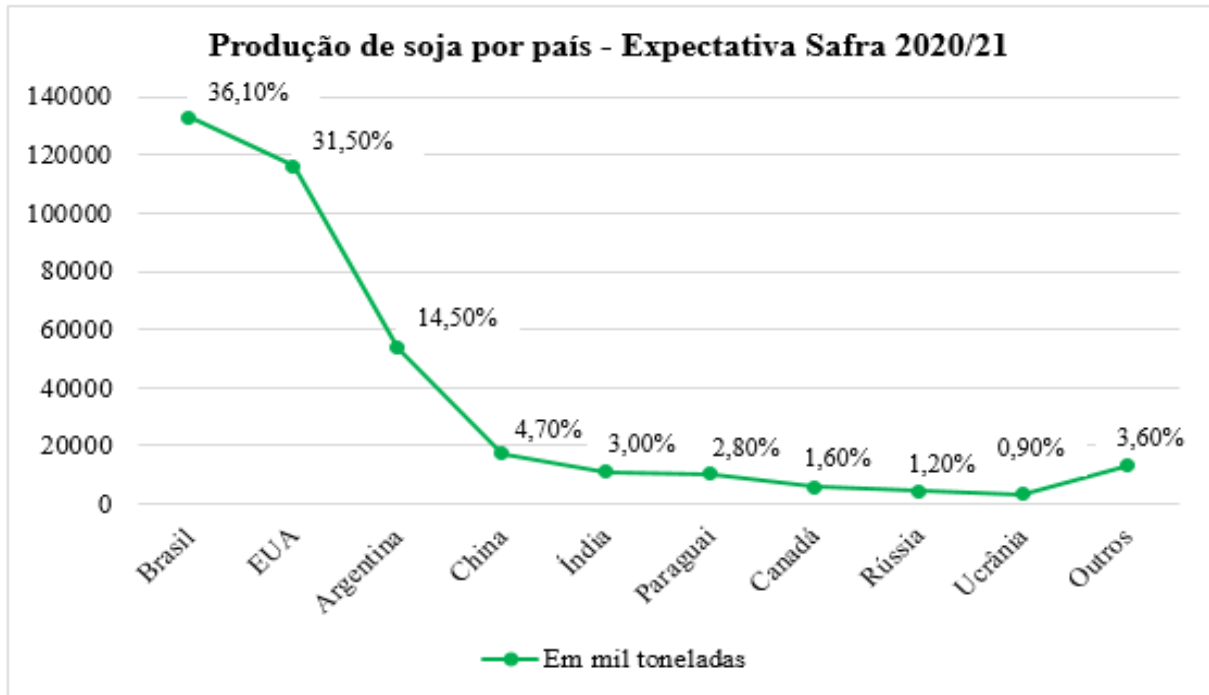
Figura 3 - Área plantada de grãos e soja no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados da CONAB (2020).

Analisando-se a produção mundial da soja na Figura 4, segundo dados do USDA (2020), a expectativa para a Safra de 2020/21 é que o Brasil novamente permaneça na primeira colocação do *ranking*, seguido dos Estados Unidos. Atualmente, a produção brasileira de soja representa cerca de 36% da produção mundial, ou seja, mais de um terço do total de soja produzida no mundo, é brasileira. Nos últimos anos, Brasil e EUA vêm disputando a primeira colocação. A disputa com a produção norte-americana e a alternância de posições se dá por diferentes motivos. Intempéries, por exemplo, afetam negativamente a safra. Outro fator considerável ao estímulo da produção brasileira são os desacordos comerciais entre os EUA e a China, o que naturalmente estimula a importação do Brasil.

Figura 4 - Produção de Soja por País, em mil toneladas



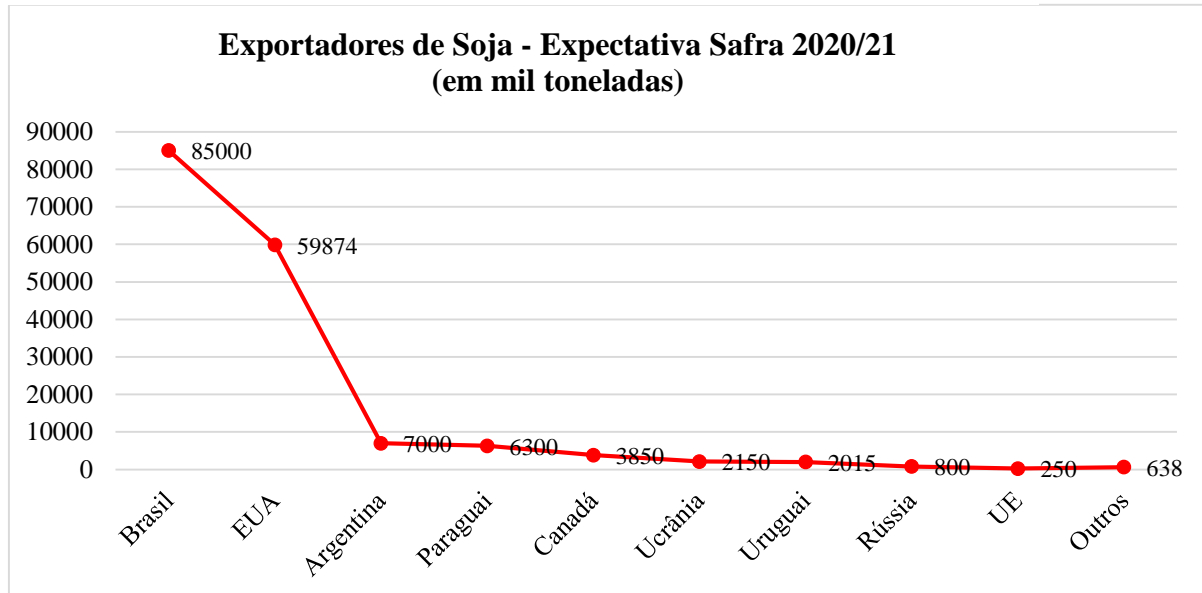
Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados da USDA (2020).

Ainda abrangendo o cenário mundial da soja, nas Figuras 5 e 6 tem-se as expectativas para as exportações e importações, respectivamente, dos países para a Safra 2020/21. Além de liderar a produção mundial, o Brasil também é o maior exportador mundial da oleaginosa, sendo responsável por mais de 50% das exportações totais do produto, seguindo novamente pelos EUA (36%) e Argentina (4%). Segundo a FAO, a soja brasileira deverá abastecer metade do crescimento populacional até 2050, ou seja, cerca de 1 bilhão de pessoas.

Historicamente, o Brasil possui vocação agrícola e, ainda possui potencial de expandir a produção da *commodity*. O Brasil possui um vasto território, assim, dentre os países é o que apresenta a maior capacidade de multiplicar a atual produção, tanto pelo aumento da produtividade, quanto pelo potencial de expansão da área cultivada (FREITAS, 2011). Um dos fatores que faz com que o produto nacional seja procurado é a sua qualidade. A soja brasileira tem maior teor de óleo e proteína em comparação com grãos produzidos nos EUA e na Argentina, sendo fortes atrativos, principalmente, para os importadores chineses (PEREIRA, 2020). Assim, a soja brasileira torna-se mais competitiva que a dos concorrentes diretos, tem

qualidade superior e melhor custo-benefício para a produção de proteína animal. Por demais, devido ao nosso clima, produzimos de duas a três safras de grãos por ano.

Figura 5 – Exportadores mundiais de soja – Expectativa Safra 2020/21

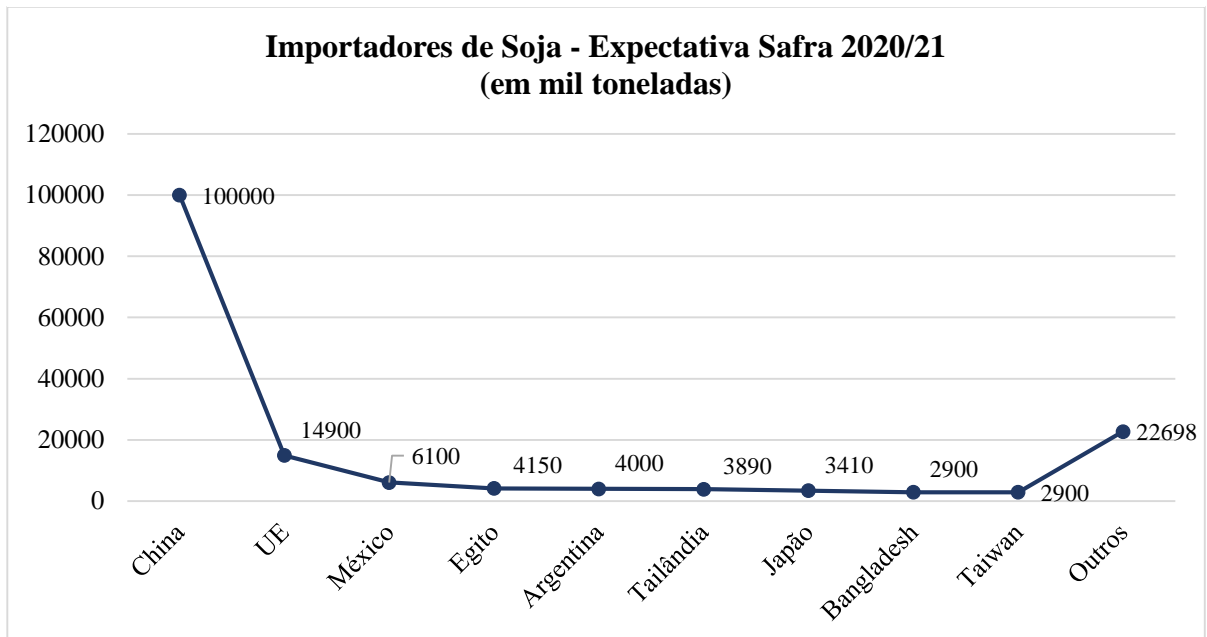


Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados da USDA (2020).

No *ranking* mundial dos maiores importadores mundiais da soja, a China está na primeira colocação, sendo responsável por importar cerca de 60% das importações totais. Em segundo lugar, vem a União Europeia. Conjuntamente, os 27 estados-membros constituintes do bloco europeu importam aproximadamente 10% da importação mundial. A quantidade importada pela UE da soja brasileira em 2018 foi a mesma que a milho e café, segundo e terceiro alimentos mais exportados pelo Brasil.

A busca pela *commodity* no mercado internacional se dá por diferentes interesses. De acordo com a Conab (2020), o grão de soja possui grande variedade de uso. Na indústria de alimentos, por exemplo, é utilizada como matéria-prima para a produção de diversos produtos. Indiretamente, sempre que há o consumo de carne ingere-se soja. No Brasil, 80% do farelo de soja, junto com o milho, compõem a ração fabricada para a alimentação animal (APROSOJA, 2020). Na indústria química, a soja serve como base para produção de vernizes, tintas, plásticos, cosméticos, adesivos, fibras e revestimento. O grão ainda é utilizado na produção de biodiesel, embora não apresente o maior teor de óleo para combustível, a cadeia produtiva de soja é capaz de tornar viável a sua aplicação neste segmento. A parte do farelo serve para a composição de ração animal, na alimentação de suínos, aves e bovinos (APROSOJA, 2020).

Figura 6 - Importadores Mundiais de Soja – Expectativa Safra 2020/21



Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados da USDA (2020).

O comércio bilateral entre o Brasil e o bloco econômico europeu é histórico, sendo a União Europeia um dos destinos mais frequentes das exportações brasileiras. A interligação entre dados dos fluxos comerciais e os resultados obtidos através do modelo gravitacional, com base em apenas um produto, facilita a compreensão e a identificação das características das unidades econômicas.

Nesta perspectiva, a primeira seção deste quinto capítulo propõe-se a expor dados do comércio bilateral entre o Brasil e a União Europeia. Na seção seguinte, apresenta-se os resultados obtidos através da aplicação da metodologia proposta para a exportação da soja brasileira, bem como, uma análise comparativa com demais estudos.

5.1.2 Evolução do Comércio Agrícola entre Brasil e União Europeia

As relações entre Brasil e União Europeia (UE) sempre ocuparam posição de destaque no comércio exterior do Brasil. Seja tomada como bloco, seja considerando os países europeus individualmente, a UE é origem e destino de importante pauta comercial brasileira há muitas décadas (THORSTENSEN et al., 2013).

A União Europeia (UE) é um bloco econômico criado em 1992 para estabelecer uma cooperação econômica e política entre os países europeus. É um dos exemplos de blocos mais avançados, apresentando uma integração econômica, social e política, moeda comum, livre

circulação de pessoas e funcionamento de um Parlamento Europeu formado por deputados dos países membros e eleitos pelos cidadãos. Atualmente, o bloco engloba 27 países, são eles: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos (Holanda), Polônia, Portugal, República Tcheca, Romênia e Suécia (ComexVis, 2020).

Com a assinatura da Parceria Estratégica, em 2007, as relações Brasil-União Europeia atingiram novo patamar e, ampliaram-se as oportunidades de diálogo sobre desafios globais e oportunidades de interesse bilateral ou bi regional (MERCOSUL e CELAC com a UE). Esta parceria tem contribuído para que Brasil e UE aprofundem as relações políticas, dinamizem os vínculos econômicos e diversifiquem as iniciativas de cooperação (MRE, 2020).

O lançamento de novas iniciativas de acordos comerciais certamente representa forte estímulo para que o Brasil redobre esforços para concluir as negociações entre as duas unidades econômicas. Certamente, o desafio maior será coordenar posições para resolver o impasse criado nas negociações de Doha da OMC e, recolocar a organização no centro do sistema de regulação do comércio internacional. Com a multiplicação de acordos preferenciais e a fragmentação de marcos regulatórios, bem como de sistemas de solução de controvérsias, o fortalecimento da OMC é condição imprescindível para que casos de guerras comerciais entre países não se transformem em guerras econômicas inter-blocos regionais.

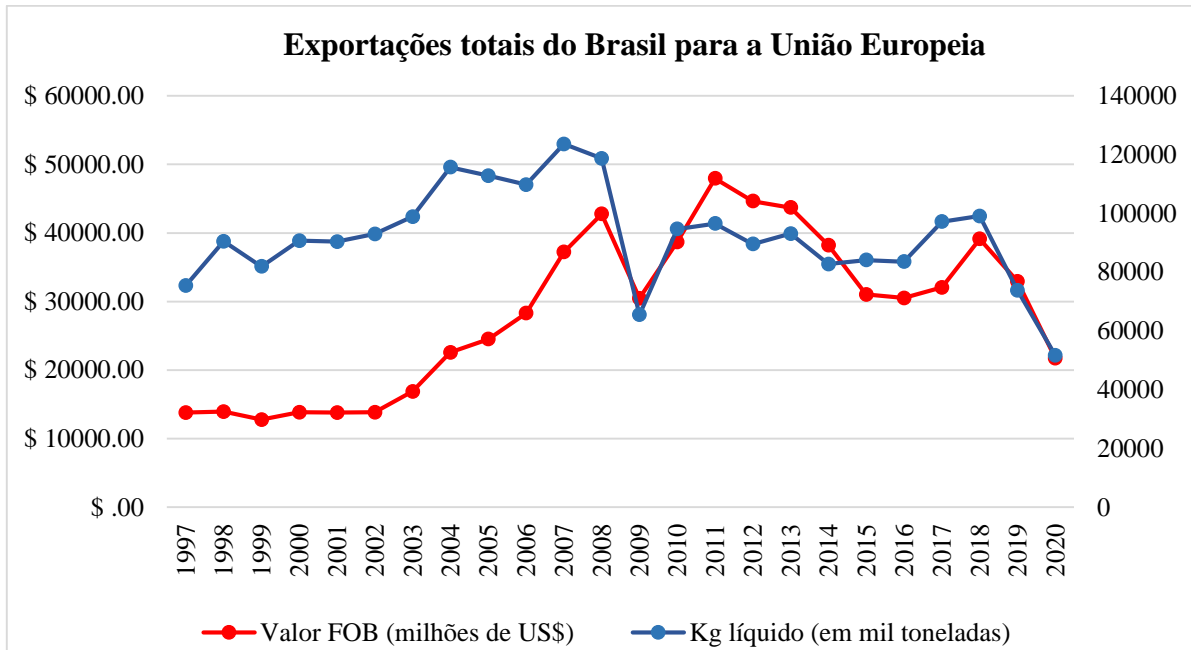
Conforme mostra a Figura 7, desde o início da série histórica de 1997-2020 as exportações brasileiras para o bloco europeu oscilaram significativamente. Na primeira década percebe-se uma evolução, tanto da quantidade exportada quanto do valor monetário.

Contudo, com a crise econômica mundial, as exportações foram impactadas. Entre os anos de 2008 e 2009 houve uma queda brusca. Neste período, a economia mundial sofreu os impactos da crise, a renda mundial caiu significativamente e as incertezas estavam muito presentes no cenário econômico. Tudo isso impacta negativamente no poder aquisitivo, tanto dos países quanto das pessoas, diminuindo os fluxos comerciais.

Pós-crise, ao mesmo tempo em que a atividade econômica ia retornando, as exportações brasileiras para o bloco europeu também se recuperaram. Basicamente o país exporta produtos agrícolas e a oscilação pode se dar perante a variação cambial. Em momentos de desvalorização do real, o produto brasileiro se torna mais competitivo no cenário internacional.

A Figura 7 contempla o agregado das exportações de todos os produtos brasileiros para a UE. Ao se detalhar este agregado no ano de 2019, tem-se que os principais produtos exportados e sua respectiva representatividade no total das exportações para o bloco foram: farelos e resíduos da extração de óleo de soja (8,8%); café cru em grãos (6,4%); minérios de ferro e seus concentrados (6,0%); celulose (6,0%) e soja (5,3%) (ComexVis, 2020).

Figura 7 – Exportações totais do Brasil para a União Europeia (UE) de 1997-2020

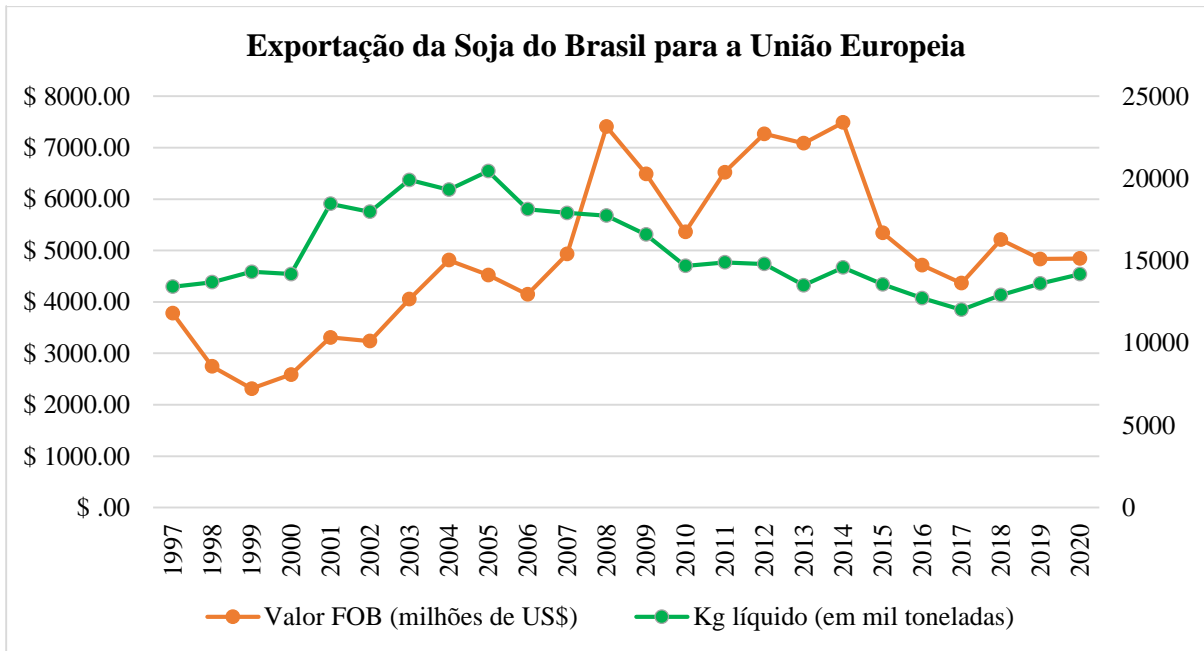


Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados do MDIC (2020).

O gráfico ilustrado na Figura 8 mostra a evolução ao longo dos anos da exportação da principal *commodity* agrícola brasileira, a soja. Como é possível visualizar, o valor monetário da exportação da *commodity* agrícola e o seu volume comercializado foram variáveis no período de 1997-2020.

Em momentos desfavoráveis no cenário econômico mundial, como na crise de 2008-2009, as exportações também sentiram este reflexo negativo. Além disso, em períodos de alta nos preços, a comercialização também deve diminuir. Entretanto, no período mais recente da série histórica, a quantidade exportada pelo Brasil para a UE está em ascensão. Esta ascensão deve-se aos diversos fatores já mencionados. A qualidade do produto brasileiro, produtividade e a competitividade no mercado internacional impulsionam os fluxos comerciais e estimulam a compra do produto brasileiro. A guerra comercial entre EUA e China também impactaram, uma vez que a produção norte-americana foi reduzida e os seus excedentes diminuíram.

Figura 8 – Exportação da Soja do Brasil para a União Europeia (UE) de 1997-2020



Fonte: Elaborado pela autora, com base em dados do MDIC (2020).

Dada a importância econômica das relações comerciais entre Brasil e UE, especialmente da comercialização da soja, estimou-se através do Modelo Gravitacional os seus impactos econômicos e ambientais. A seguir, são apresentadas as estimativas encontradas, a partir dos dados coletados.

5.2 TESTES E ANÁLISES PRELIMINARES DOS MODELOS ECONOMÉTRICOS

Três modelos estatísticos foram apresentados na metodologia, o modelo de Efeitos Fixos, Efeitos Aleatórios e *Pooled*. A partir da estimação dos três modelos, testes estatísticos preliminares devem ser realizados a fim de possibilitar a escolha do modelo com mais consistência estatística.

O teste Chow, o primeiro dos testes apresentados na Tabela 2 a seguir, está contido na estatística do teste F da linha inferior da estimativa de efeitos fixos. O seu respectivo p-valor indica que o modelo de efeitos fixos é melhor que o *Pooled*.

No teste de Breusch-Pagan compara-se as estimativas do modelo de *Pooled* contra o Efeito Aleatório. O teste é amplamente conhecido como o teste LM e, diz-se que o *Pooled* é escolhido em detrimento do modelo de efeitos aleatórios quando a estatística do teste tende a uma unidade, ou seja, quando não se rejeita a hipótese nula de que o pior modelo seja o de efeitos aleatórios.

Pela estatística do teste de Hausman, se define se o melhor modelo é o de efeitos fixos ou efeitos aleatórios. No caso de não se rejeitar a hipótese nula, ou seja, um p-valor próximo a um, o modelo escolhido é o modelo de efeitos fixos. O teste consiste em um teste *qui-quadrado* baseado no critério de Wald, portanto, baseado nos vetores dos coeficientes e assenta-se na ideia de que é nula a covariância de um estimador eficiente com a sua diferença em relação a um estimador ineficiente.

O teste de Wald, aplicado com o intuito de verificar-se a heterocedasticidade no modelo de Efeito Fixo. Caso o p-valor apresente um valor próximo à 0,00, a hipótese nula é rejeitada e há heterocedasticidade. Já no caso de não rejeição de H_0 , o modelo é considerado homocedástico.

A autocorrelação serial dos modelos de Efeitos Fixos e Aleatórios foi testada a partir do teste de Wooldridge. Este teste assume a hipótese nula de que as séries do modelo em painel sejam não autocorrelacionadas de primeira ordem, enquanto a hipótese alternativa é de que há autocorrelação serial de primeira ordem no modelo.

Tabela 2 - Resultados dos testes econométricos para escolha do Modelo

Testes	Diagnóstico	Hipóteses	Estatística	p-valor
Chow	Testar o modelo de Pooled contra Efeito Fixo	H ₀ : Modelo Pooled H ₁ : Modelo de Efeito Fixo	0.03	0.9708
LM - Breush Pagan	Testar o modelo de Pooled contra Efeito Aleatório	H ₀ : Modelo Pooled H ₁ : Modelo de Efeito Aleatório	0.00	1.0000
Hausman	Testar o modelo de Efeito Aleatório contra Efeito Fixo	H ₀ : Modelo de Efeito Fixo H ₁ : Modelo de Efeito Aleatório	26.02	0.0000
Wald	Teste para Heterocedasticidade no Efeito Fixo	H ₀ : Ausência de Heterocedasticidade H ₁ : Presença de Heterocedasticidade	0.01	1.0000
Wooldridge	Teste de autocorrelação para Efeito Fixo e Efeito Aleatório	H ₀ : Ausência de Autocorrelação H ₁ : Presença de Autocorrelação	0.261	0.8354

Fonte: Elaborado pela autora com os dados da pesquisa (2020).

A partir das estatísticas apresentadas na Tabela 2 e dos critérios utilizados, concluiu-se que o modelo estatístico mais apropriado é o *Pooled*. A seguir, são apresentadas as estatísticas obtidas para os testes do Modelo *Pooled*, os quais foram aplicados com o objetivo de testar a consistência estatística do modelo.

5.2.1 Testes de Multicolinearidade, Heterocedasticidade e Autocorrelação no Modelo

Após definido o modelo, quatro testes foram realizados com o objetivo de verificar a presença do multicolinearidade e heterocedasticidade. O modelo Pooled selecionado considera que todos os coeficientes sejam constantes ao longo do tempo. Na Tabela 3, são apresentadas as estatísticas dos testes.

Tabela 3 - Testes estatísticos

Testes	Diagnóstico	Hipótese do Teste	Estatística	p-valor
FIV	Testar a Multicolinearidade		4.25	---
TOL	Testar a Multicolinearidade		0.235	---
White	Teste para Heterocedasticidade	H ₀ : Ausência de Heterocedasticidade H ₁ : Presença de Heterocedasticidade	0.012	0.7111
Breusch-Pagan / Cook-Weisberg	Teste para Heterocedasticidade	H ₀ : Ausência de Heterocedasticidade H ₁ : Presença de Heterocedasticidade	0.00	0.9586

Fonte: Elaborado pela autora com resultados da pesquisa (2020).

O primeiro dos testes relacionas, o FIV, foi utilizado para detectar o grau de multicolinearidade. O teste é aplicado conjuntamente com o TOL (fator de tolerância), que é considerado o inverso do FIV. Quanto mais a estatística obtida no TOL tender a zero, mais alta será a colinearidade entre as variáveis independentes. Para Gujarati (2006), a presença de uma relação linear perfeita entre os regressores ao tornar a variância e covariância muito grande pode fazer com que os intervalos de confiança sejam amplos e os estimadores de MQO mais sensíveis a alterações nos dados.

A estatística obtida para o FIV foi de 4.25, o que sugere que os regressores não possuem colinearidade perfeita. Além disso, o TOL foi de 0.235, distante de zero, o que reforça esta conclusão.

Para testar-se a presença da heterocedasticidade no modelo *Pooled* foram aplicados o teste de White e o teste de Breusch-Pagan. Estes testes têm como objetivo verificar se a variância do erro não apresenta o comportamento explosivo.

Conforme a Tabela 3, tanto o teste de White quanto o teste de Breusch-Pagan/Cook-Weisberg sugerem que a variância do erro condicionada aos valores dos regressores é constante ao longo dos anos. Chega-se a esta conclusão pois as probabilidades de não se rejeitar a hipótese nula são altas, o que indica a presença de homocedasticidade do modelo.

5.3 INTERPRETAÇÃO DO MODELO ESTIMADO

A partir dos testes apresentados acima, chegou-se à estimação dos resultados para cada um dos modelos. No caso, o Modelo escolhido para o estudo foi o *Pooled* e as variáveis foram estimadas em *ln*. A seguir, na Tabela 4 seguem os coeficientes encontrados.

Tabela 4 - Resultados dos Modelos

Variáveis Explicativas	Pooled	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
<i>const</i>	23.12623 ***	16.68297	10.4734 ***
<i>lnpibbr</i>	1.103571 ***	1.040754 ***	1.522605 ***
<i>lnpibue</i>	1.465526 ***	0.2697058	1.519175 ***
<i>lnsim</i>	2.533481 ***	2.006223 ***	3.306798
<i>lndist</i>	-7.306431 ***	-	-3.587872 ***
<i>lncamb</i>	-0.1411962	-0.0519872	-0.4921846
<i>lnco2br</i>	0.6674723 ***	0.01119415	0.0133103 ***
<i>lnco2eu</i>	-0.6826995 ***	-0.2996709	-0.6438017 ***

<i>Nº de observações</i>	105	105	105
<i>R²</i>	0.8296		
<i>Prob > (F)</i>	0.00	0.8596	

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.1

Fonte: Elaborado pela autora com resultados da pesquisa (2020).

O primeiro coeficiente apresentado é o PIB brasileiro, *lnpibbr*. De acordo com a estimação, a renda do país exportador influencia positivamente as exportações. Esta relação entre renda e exportações é estreitamente ligada, sendo que as duas variáveis se estimulam. No caso, um aumento de 1% no PIB do país gera um aumento de 1,10% nas exportações de soja para a UE. Uma vez que o produto brasileiro é maior, os recursos para se investir em tecnologias que aumentem a capacidade produtiva, também serão maiores. Além disso, momentos que o PIB do Brasil está propício geralmente coincidem com momentos favoráveis no contexto mundial, onde os demais países também possuem uma maior renda e maior capacidade de importar.

A variável referente ao PIB do país importador, *lnpibue*, também apresentou coeficiente positivo e estatisticamente significativo. Uma variação de 1% no PIB europeu, segundo o coeficiente obtido, gera um aumento de 1,46% nas exportações de soja. Assim, acredita-se que variações positivas no nível de renda dos parceiros comerciais brasileiros tendem a aumentar a demanda por bens importados, o que contribui para elevar as exportações do Brasil para o bloco.

O índice de similaridade de renda das unidades econômicas foi positivo. Este índice de similaridade de renda dos estados serve para captar diferentes efeitos de comércio intranacional. O resultado obtido foi de coeficiente com sinal positivo, como esperado e, estatisticamente significativo. Com um valor positivo encontrado para o coeficiente, entende-se que os estados com renda diferente comercializam mais uns com os outros. Dada a situação em análise, este resultado é o esperado, visto que se analisa a exportação de um país em desenvolvimento para um bloco de países majoritariamente desenvolvidos.

Em se tratando do coeficiente estimado para a variável distância, *ln-dist*, assim como sugerido pela teoria, verificou-se impacto negativo sobre o valor das exportações. Este sinal é esperado, visto que a distância gera um fator complicador ao comércio quanto maior a distância entre os parceiros comerciais, maiores custos de transporte e maiores os preços dos produtos comercializados. Assim, se espera que um país comercialize mais com um estado mais próximo geograficamente.

A taxa de câmbio apresentou uma relação negativa com a exportação de soja brasileira. Contudo, este coeficiente é significativo apenas ao se considerar um nível de significância de 5%. Na literatura econômica, a volatilidade da taxa de câmbio não possui um consenso acerca do seu sinal e magnitude sobre os fluxos de comércio. Tradicionalmente, a teoria do comércio internacional sugere que a volatilidade da taxa de câmbio deprimiria o comércio, pois os exportadores veem a volatilidade como um aumento da incerteza dos resultados em operações internacionais sob a hipótese de aversão ao risco.

As emissões de CO₂ da produção de soja brasileira apresentaram uma relação positiva com o volume das exportações. Este sinal de certa forma, é esperado, uma vez que se pode considerar uma relação de causalidade entre as variáveis. Mais emissões representam um maior volume de produção para exportação, bem como, uma maior produção gera um volume maior de exportações.

Quanto a ideia da Curva Ambiental de Kuznets (CKA), os resultados encontrados para os coeficientes de degradação ambiental indicam que ainda não se atingiu tal nível. A CKA propõe que a degradação ambiental se expande com o crescimento econômico até que, ao atingir um dado nível renda *per capita*, a qualidade dos indicadores ambientais evolui, o que propicia uma curva em forma de “U-invertido” para relação produto/emissões (GROSSMAN E KRUEGER, 1991). Desse modo, como o coeficiente encontrado foi positivo, conclui-se que a relação entre a exportação brasileira de soja e a degradação ambiental ainda não atingiu seu ponto máximo.

A última variável dependente em questão, as emissões de CO₂ do bloco europeu obteve um coeficiente negativo. Este resultado indica uma relação inversa entre as emissões europeias e a exportação de soja do Brasil para o bloco. Ou seja, menor a degradação ambiental no território, maior as importações da *commodity* brasileira. Este resultado vai de encontro com a literatura, visto que países desenvolvidos possuem políticas ambientais mais rígidas e costuma importar produtos agrícolas oriundos de países em desenvolvimento, onde as políticas ambientais são mais brandas.

5.3.1 Análise Comparativa dos Resultados Obtidos com a Literatura

Diversos estudos acerca do tema foram apresentados na revisão bibliográfica. Confrontar os resultados obtidos por estes autores com os encontrados pelo presente estudo possibilita encontrar pontos de convergência e divergências entre as conclusões dos autores.

No estudo de Dinda (2005), o autor afirmou que haviam diversos empecilhos para que os países não industrializados alcançassem o nível de renda per capita necessário para se chegar ao nível sugerido pela CKA. Esta conclusão se confirma neste estudo, onde as emissões ainda possuem influência positiva com a produção. Para o autor, o menor estoque natural disponível nos países em desenvolvimento e produtores das *commodities* faz com que estes países encontrem maiores dificuldades em arcar com os custos da redução da poluição e assim acabam tendo políticas ambientais menos rígidas.

Analisando-se os coeficientes obtidos para a taxa de câmbio, o confronto com o estudo de Kandilov (2007) se faz interessante. O autor analisou os países do G-10 e estimou o efeito da volatilidade da taxa de câmbio em exportações agrícolas separadamente para países desenvolvidos, emergentes e em desenvolvimento. Da mesma forma que os resultados obtidos neste estudo, a volatilidade da taxa de câmbio teve um impacto negativo no comércio agrícola. Para Kandilov (2007), o efeito da volatilidade em países desenvolvidos, emergentes e em desenvolvimento, é maior para os exportadores dos países em desenvolvimento e menor para os exportadores dos países desenvolvidos.

O estudo de Folfas et al. (2011), o qual também aplicou o modelo gravitacional, relacionando os fluxos comerciais com emissão de CO₂, apresenta conclusões interessantes. Os autores propõem que diferentes padrões de proteção ambiental podem ser vistos como um obstáculo para o comércio internacional, favorecendo produtores que não precisam arcar com custos de adaptação a padrões ambientais mais altos, incluindo normas mais rigorosas de emissões de gases do efeito estufa. O que no caso, propicia a produção em países com legislação ambiental mais branda. Como no presente estudo, os autores observaram um fluxo de comércio maior em produtos primários com maiores emissões de CO₂.

Referente a influência positiva do produto do país importador sobre as exportações, esses resultados encontrados corroboram aqueles obtidos por Bilici (2016). Em seu estudo sobre os determinantes do comércio internacional de serviços no Reino Unido, Bilici (2016) encontrou resultado semelhante para a variável PIB do importador. Ou seja, incrementos na renda do país parceiro afetaram positivamente o valor das exportações em todos os *quantis*. Influência esta esperada, uma vez que uma maior renda possibilita um maior poder aquisitivo e conseqüentemente, maior volume de importações.

Trazendo a discussão para o contexto brasileiro, Castro et al. (2018) buscaram mostrar os determinantes das emissões de CO₂ no Brasil para o período 1971-2011. Para tal, os autores

buscaram estabelecer relações de longo prazo entre PIB e degradação ambiental, com base na CKA. Os autores concluíram que a relação entre crescimento econômico e poluição ambiental no Brasil possui o formato de um “N”, podendo ter relação em alguma medida com a teoria da CKA. As conclusões divergentes das deste estudo podem ser justificadas pela diferença do período de análise, o qual foi de maior abrangência no estudo dos autores.

Em 2019, Yao et al. (2019) aplicaram modelo gravitacional a fim de analisar os Acordos de Livre Comércio (ALC) e o meio-ambiente para um desenvolvimento sustentável. Os autores examinaram o impacto dos ALCs nas emissões bilaterais de carbono dentro do modelo gravitacional e as suas conclusões indicam um impacto positivo dos acordos de ACL na poluição bilateral de CO₂. Entretanto, os resultados foram divergentes para os diferentes grupos de países. Os efeitos dos ALCs na poluição bilateral de CO₂ implicam que os países de baixa renda tenham um efeito poluidor maior. Ou seja, na mesma perspectiva de outras literaturas, e o que também aponta este estudo, a poluição em país de menor renda tende a ser maior.

Para dar continuidade ao trabalho e finalizar, são expostas as conclusões deste estudo. As conclusões apresentadas na sequência se deram a partir da literatura especializada e apresentada ao decorrer do trabalho, além de, contemplar algumas especificidades devido a temática e metodologia abordadas.

6 CONCLUSÃO

A aplicação dos modelos gravitacionais em meio a estudos econômicos é consolidada através da literatura. Entretanto, evoluções e aprimoramentos do modelo se tornaram frequentes, visto o avanço dos estudos e aplicações com diversos fins. Assim, o modelo inicialmente proposto a partir da lei de gravidade de Newton, foi incrementado com diferentes variáveis relacionadas ao meio econômico e tornou-se um instrumento empírico.

O presente estudo buscou, através do Modelo Gravitacional, identificar os impactos no meio ambiente de um maior fluxo de exportação de soja do Brasil para a UE, no período de 1997-2017. Em 2018, as exportações da *commodity* representaram 17% do valor total movimentado pelas exportações brasileiras, o que ressalta a importância do grão para a economia brasileira. Já os fluxos comerciais entre o Brasil e o bloco europeu são históricos, sendo o segundo maior destino da exportação da soja brasileira.

Através da aplicação de dados em painel e do emprego de ferramentas econométricas, optou-se pela estimação do modelo *Pooled*, sendo que este apresentou vantagens estatísticas perante os modelos estimados com Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios. Além das variáveis tradicionais utilizadas pelo modelo gravitacional, especialmente na equação de gravidade de Bergstrand (1985), utilizou-se variáveis que mensurassem o efeito ambiental, como as emissões de CO₂, bem como, adicionou-se o índice de similaridade ao modelo estimado e a taxa de câmbio.

Por meio do modelo selecionado, confirmou-se a premissa básica da equação gravitacional do comércio bilateral, segundo a qual os fluxos de comércio reagem positivamente a um conjunto limitado das variáveis econômicas, como os tamanhos dos mercados (PIB) e, negativamente à distância entre as duas regiões econômicas. Ao se considerar a emissão de poluentes, os coeficientes encontrados também se justificam, dado ao fato de que as emissões de CO₂ do Brasil apresentam relação positiva com a exportação da soja brasileira. Já as emissões por parte da UE apresentaram relação inversa às exportações. Ou seja, com maior importação por parte da comunidade europeia, conseqüentemente tem-se uma menor emissão de gases poluentes em seu território. Para Folfas (2011), não há dúvidas de que o problema do vazamento de carbono está intimamente relacionado ao comércio internacional.

Assim sendo, a partir destes resultados, sugere-se que a os fluxos de exportação da soja brasileira para a UE dependem de fatores como o tamanho das economias em questão e o índice de similaridade dos produtos. Além de, a distância geográfica e as emissões de CO₂, tanto do

Brasil como da UE, terem influência significativa sobre as exportações. Neste sentido, um sistema nacional de fiscalização e maior controle ambiental acerca das emissões geradas pela produção agrícola são interessantes. Contudo, políticas ambientais devem ser pensadas no bem-estar geral, promotoras da conscientização e incentivadoras de melhorias que diminuam os impactos ambientais. Ou seja, políticas e medidas governamentais que não ocasionem efeitos repreensivos na cadeia produtiva da *commodity*, visto que se trata de um importante produto para a economia brasileira, mas que protejam o meio ambiente e diminua a emissão de carbono.

A sustentação das hipóteses confirmadas nesse estudo pode exigir estudos mais detalhados acerca do tema, com uma maior inclusão de variáveis. Contudo, a partir deste trabalho tem-se indicativos de que, uma maior produção agrícola em território brasileiro e um maior fluxo comercial tende a ocasionar uma maior emissão de gases poluentes e conseqüentemente, maiores danos ambientais.

REFERÊNCIAS

- AITKEN, N. D. The Effect of the EEC and EFTA on European Trade: A Temporal Cross-Section Analysis. **American Economic Review**, v. 63 n. 5, p. 881-892, 1973.
- ALMEIDA, Luciana Togeiro de. et al. Comércio e meio ambiente: evidências do setor agroexportador brasileiro. In: MAY, Peter (Org.). **Economia do meio ambiente: Teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- ANDERSON, J. E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. **The American Economic Review**, v. 69, n.01, p.106-116, 1979.
- ANDERSON, J. E.; WINCOOP, E. V. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. **American Economic Review**, v. 93, n.01, p.170-192, 2003.
- ANDRADE, Daniel C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, Campinas, (14): 1-31, ago.-dez. 2008.
- ARCE, Guido A. R. D.; LÓPEZ, María A. C.. Comercio bilateral entre Paraguay y Estados Unidos: un análisis de su desarrollo en el periodo 1994-2016. **Revista Relaciones Internacionales**, n 91.2, Costa Rica, 2018.
- AROURI, M.H.; BEN YOUSSEF, A.; M'HENNI, H.; RAULT, C. Energy consumption, economic growth and CO2 emissions in Middle East and North African countries. **Energy Policy** 45, 342–349. 2012.
- ARROW, K. et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Science**, v. 15, p. 91–95, 1995.
- ASSOCIAÇÃO, Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE). **Estatísticas**. Disponível em: < <http://abiove.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- BALISTRERI, Edward J.; BOHRINGER, Christoph; RUTHERFORD, Thomas F. Carbon policy and the structure of global trade. **The World Economy**. 2018;41:194–221. 2018.
- BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 2005.
- BECKERMAN, W. Distance and the Pattern of Inter-European Trade. **The Review of Economics and Statistics**, v.38, n.01, p.31-40, 1956.
- BERGSTRAND, Jeffrey H. The gravity equation in the international trade: some microeconomics foundations and empirical evidence. **Review of Economics and Statistics** 71, 20-42. 1985.
- BERGSTRAND, J. H. The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor proportions theory in international trade. **The Reviews of Economics and Statistics**, v.

71, n.01, p. 143-153, 1989.

BERRENS, R. et al. Testing the inverted-U hypothesis for US hazardous waste: An application of the generalized gamma model. **Economics Letters**, v. 55, n. 3, p. 435-440, 1997.

BERTHLON, Matias, FREUD Caroline. On the conservation of distance in international trade. **Journal of International Economics**. 75 (2008) 310-320. 2008.

BRASIL, **Associação Brasileira dos Produtores de Soja (APROSOJA)**. Disponível em: <<https://aprosojabrasil.com.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRASIL. **Companhia Nacional de Abastecimento (Conab)**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

BRASIL. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA)**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/home>> Acesso em: 17 mar. 2020.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Sistema de Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>> Acesso em: 17 mar. 2020.

BRASIL, Ministério da Economia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Taxa de câmbio nominal. Disponível em: < <http://ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?serid=38389>>. Acesso em: 02 abr. de 2020.

BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). **ComexVis**. Disponível em: < <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

BU, Maoliang; LIN, Chin-Te; ZHANG, Bing. Globalization and climate change: New empirical panel data evidence. **Journal of Economic Surveys** (2016) Vol. 30, No. 3, pp. 577–595. 2016.

BUREAU, J.; JEAN, S. The Impact of Regional Trade Agreements on Trade in Agricultural Products. **OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers**, n. 65, 14p. 2013. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5k3xznkz60vk-en.pdf?expires=1580926132&id=id&accname=guest&checksum=C4A91B57EDAB4EA6271B652D639683B1>>. Acesso em: 05 de fev. 2020.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics using Stata**. College Station: Stata Press, 2009.

CANTORE, Nicola; CHENG, Charles F. C. International trade of environmental goods in gravity. **Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series WP 2 | 2018**. 2018.

CASTRO, Alisson S. de; et al. Condicionantes das Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) no Brasil: Evidências Empíricas de uma Curva no Formato de “N”. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 22, n. 3, p. 1-27. 2018.

CHENG, I-H.; WALL, H. J. Controlling for Heterogeneity in Gravity Models of Trade and Integration. **The Federal Reserve Bank of ST. Louis**, v. 87, n.01, p.49-63, 2005.

COLE, M. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. **Ecological Economics**, v. 48, p. 71-81, 2004.

CEPII. Distância Geográfica. Disponível em: <<http://www.cepii.fr/CEPII/en/welcome.asp>>. Acesso em: 27 de julho de 2020.

CUNHA, C. A.; SCALCO, P. R. Crescimento econômico brasileiro e emissão de CO₂. **Revista do Desenvolvimento Regional**, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 2, p. 214-230, ago. 2013.

DEARDORFF, A. V. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World? **In:** FRANKEL, J. A. National Bureau of Economic Research: The Regionalization of the World Economy, 1998.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. **Ecological Economics**, v. 49, p. 431–455, 2004.

EICHENGREEN, B.; IRWIN, D. The role of history in bilateral trade flows. **In:** FRANKEL, J. A. (Org.) **The regionalization of the world economy**. The University of Chicago Press, p. 33-62, 1998

ERDEM, Ekrem; NAZLIOGLU, Saban. Gravity Model of Turkish Agricultural Exports to the European Union. **International Trade and Finance Association**, Paper 21, 09p., 2008.

EUR-Lex. **Comércio Externo**. Disponível em: < https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/external_trade.html?root_default=SUM_1_CODED%3D07&locale=pt>. Acesso em: 02 abr. de 2020.

EUROSTAT, **Database**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>>. Acesso em: 30 abr. 2020.

FEENSTRA, R. C.; MARKUSEN, J.A.; ROSE, A. K. Using The Gravity Equation To Differentiate Among Alternative Theories Of Trade. **Canadian Journal of Economics**, v.34, p. 430-447, 2001.

FEENSTRA, R.C. Advanced international trade: theory and evidence. Princeton: **Princeton University Press**, 2004.

FOLFAS, Pawel; NYGA-LUKASZEWSKA, Honorata; SLOK-WÓDKOWSKA, Magdalena. International trade in steel and cement industry: gravity model, carbon leakage and border tax adjustments. **European Trade Study Group**. 2011.

FONSECA, L. N.; RIBEIRO, E., P. Preservação Ambiental e Crescimento Econômico no Brasil. In: **Encontro Nacional De Economia**, 32., João Pessoa, Paraíba, 7-10 dez. 2004.

FRANKEL, J., STEIN, E., WEI, S.-J. Trading blocs and the Americas: the natural, the unnatural and the supernatural. **Journal of Development Economics**, v. 47, p. 61-95, 1995.

FREITAS, Márcio de C. M. de. A Cultura da Soja no Brasil: O crescimento da Produção Brasileira e o surgimento de uma Nova Fronteira Agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011

GLOBAL, Footprint Network. **Ecological Deficit/Reserve**. Disponível em: <[https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.233366169.646424676.1588086948-374434686.1588086948#/>. Acesso em: 28 abr. 2020.](https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.233366169.646424676.1588086948-374434686.1588086948#/)

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 6. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **National bureau of Economic Research Working Paper**. Cambridge, MA, 1991.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. Economic Growth and the Environment. **Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.

HAIR, Jr., J. H.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C. trad. Adonai Schlup Sant'Ana e Anselmo Chaves Neto. **Análise Multivariada de Dados**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2005.

HARRIGAN, J. Specialization and the Volume of Trade: Do the data Obey the Laws? **Working Paper**, Federal Reserve Bank of New York, 57p., 2001.

HARRIS, M. N.; MÁTYÁS, L. The econometric of Gravity Model. Melbourne Institute. **Working Paper**, n.5, 18p., 1998.

HATAB, A. A.; ROMSTAD, E.; HUO, X. Determinants of Egyptian Agricultural Exports: A Gravity Model Approach. **Modern Economic**, v.01, p.134-143, 2010.

HELPMAN, E.; KRUGMAN, P. R. **Market Structure and Foreign Trade: Increasing Returns, Imperfect Competition, and the International Economy**. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K., Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, **Water Resources Management**, 21(1): 35–48. 2007.

HSIAO, C. **Analysis of Panel Data**. New York: Cambridge University Press. 2003.

IDSARDI, E. The Determinants of Agricultural Export Growth in South Africa. Contributed Paper presented at the **Joint 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference**, Cape Town, South Africa, 17p., 2010. Disponível em: <<https://ageconsearch.umn.edu/record/96639/>>. Acesso em: 05 de fev. 2020.

ISARD, W. et al. **Methods of regional analysis: an introduction to regional science**. Cambridge, Massachusetts: M.I.T, 784 p., 1960.

ISARD, P. How Far Can We Push The Law of One Price? **The American Economic Review**, v. 65, n. 5, p. 942-948, 1977.

KAHOULI, Bassem; OMRI, Anis. Foreign direct investment, foreign trade and environment: New evidence from simultaneous-equation system of gravity models. **Research in International Business and Finance** 42 (2017) 353–364. 2017.

KANDILOV, I. The effects of exchange rate volatility on agricultural trade. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 90, n.4, p. 1028-1043, 2008.

KIM, Hyun Seok Kim, KOOB, Won W. Koob. Impacts of regulating greenhouse gas emissions on livestock trade flows. **Agricultural Economics** 42 (2011) 679–684. 2011.

KOKKO, A.; TINGVALL, P.G. The Eurovision Song Contest, Preferences and European Trade. **Ratio Institute Working Paper**, n.183, 30p.; Sweden, 2000. Disponível em: <http://ratio.se/app/uploads/2014/11/ak_pt_eurovision_183.pdf>. Acesso em: 20 de jan. 2020.

KRAUSMANN, F.; et al. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century, **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 10.1073/pnas.1211349110. 2013.

KRUGMAN, Paul. Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade. **The American Economic Review**, v. 70, n. 5, pp. 950-959. Dezembro, 1980.

KRUGMAN, Paul; OBSTFELD, M. **Economia Internacional: Teoria e Política**. 4ª ed. São Paulo: Makron Books. 2001.

LELIS, M. T. C. **O Movimento Recente do Investimento Espanhol na América Latina: Condicionantes Macroeconômicos**. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

LINNEMANN, H. An Econometric Study of International Trade Flows. Review by: S. J. PRAIS. **The American Economic Review**, v. 57, n. 01, p. 283-285, Mar., 1967.

LÓPEZ, Los Recursos Naturales y el debate sobre la industrialización em América Latina. Parte I: Los debates. In: ALBRIEU, Eamiro; LÓPEZ, Andrés; ROZENWURCEL, Guillermo (Coord.). **Los Recursos Naturales como palanca del desarrollo en América Del Sur: Ficción o realidad?** Red Mercosur de investigaciones económicas. 2011.

LORA, J. et al. The Environmental Kuznets Curve (EKC): An analysis landfilled solid waste in Colombia. **Revista Facultad Ciências Econômicas**, v. 21, n. 2, p. 7-16, 2013.

MADALLA, G. S. Limited dependent and qualitative variables in econometrics. **Cambridge University Press**. New York, 2001.

MARKWALD, R.; RIBEIRO, F. Brasil e doença holandesa. Parte II: Enfermedad holandesa em el cone sur? In: ALBRIEU, Eamiro; LÓPEZ, Andrés; ROZENWURCEL, Guilherme (Orgs). **Los Recursos Naturales como palanca del desarrollo en América Del Sur: Ficción o realidad?** Red Mercosur de investigaciones económicas. 2011.

MARQUES, L. D. Modelos dinâmicos com dados em painel: revisão da literatura. **Série Working Papers**, do Centro de Estudos Macroeconômicos e Previsão (CEMPRE) da Faculdade de Economia do Porto, Portugal, n. 100, 2000.

MARTINEZ-ALIER, J. Economía Ecológica. **International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences**. 1996.

MATYAS, L. Proper econometric specification of the gravity model. **The World Economy**, v.20, n.03, p363-368, 1997.

MELICIANI, V. The impact of technological specialization on national performance in a Balance-of payments constrained growth model. **Conference ETIC**, Estrasburgo, 1998.

MOREIRA, U. Teorias do Comércio Internacional: um debate sobre a relação entre crescimento econômico e inserção externa. **Revista de Economia Política**, vol.32, n.2 (127), p.213-228, abril-junho/2012

MOREL, Blanca L. G; TRIACA, Livia M.; SOUZA, Osmar T. de. Desenvolvimento econômico e a disposição de resíduos sólidos no Brasil: um teste da hipótese da Curva Ambiental de Kuznets (CKA) para os municípios brasileiros. **Revista Espacios**, v. 37, n. 17, 2016.

PADRÃO, et al. Regulação ambiental e comércio internacional: fluxos comerciais de grãos entre o Brasil e a OCDE. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, vol. 23, n. 2, 2015: 421-447, 2015.

PAO, H.; TSAI, C. Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2450-2458, mai. 2011.

PAULA, J.S, DE; MIRANDA, M.I.C. Análise do padrão de comércio entre os países do BRICS. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 37, n. 4, p. 1005-1032, mar. 2017

PENGUE, W., Transgenic crops in Argentina. The ecological e social debt, **Bulletin of Science, Technology e Society**, 25(4): 314-322. 2005.

- PEREIRA, Bartolomeu Braz. O potencial da soja e o aumento das exportações. **Revista Campo & Negócios**. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/o-potencial-da-soja-e-o-aumento-das-exportacoes/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- PLUMPER, T.; TROEGE, V. E. Efficient Estimation of Time-Invariant and Rarely Changing Variables in Finite Sample Panel Analyses with Unit Fixed Effects. **Political Analysis**, v.15, n.2, p.124-139, 2007.
- PORTO, Marcelo F; MARTINEZ-ALIER, Joan. Ecologia política, economia ecológica e saúde coletiva: interfaces para a sustentabilidade do desenvolvimento e para a promoção da saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 23 Sup 4: S503-S512, 2007.
- PÖYÖHNEM, P. **A tentative model for the volume of trade between countries**. *Weltwirtschaftliches Archiv*, n. 90, p, 93-100, 1963.
- PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e seus principais problemas. **Revista Brasileira de Economia**, v.3, n.3, 1949.
- QUEIROZ, Fábio A. de. Meio Ambiente e comércio internacional: Relação Sustentável ou opostos inconciliáveis? Argumentos ambientalistas e pró-comércio do debate. **Contexto Internacional**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p. 251-283, mai./ago. 2009.
- RICARDO, D. (1817) **Princípios de Economia Política e Tributação**. Tradução de P. H. R. Sandroni. São Paulo: Victor Civita, 1982.
- RODRIK, Dani; WACZIARG, Romain. Do Democratic Transitions Produce Bad Economic Outcomes? **American Economic Review**, 95 (2): 50-55, 2005.
- SANTOS, Marcela O. *et al.* Uma Análise Das Restrições Comerciais No Mercado Internacional De Algodão. **Revista de Estudos Sociais**, n. 38, v. 19, Pag. 67, 2017.
- SELDEN, T.; SONG, D. Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, p. 147–162, 1994.
- SERRANO, André L. M.; LOUREIRO, Paulo R. A.; NOGUEIRA, Jorge M. Evidência da Curva de Kuznets Ambiental no Brasil: Uma Análise do Crescimento Econômico e Poluição. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 304-314, 2014.
- SILVA, Fernanda A.; MATTOS, Leonardo B de. Desenvolvimento do Sistema Financeiro e Exportações Brasileiras: Uma Análise Para o Período de 1995 a 2014. **Economia Aplicada**, v. 23, n. 2, pp. 99-126. 2019.
- SILVA, Karine A. O. da. **Vantagens Comparativas, especialização comercial e recursos naturais em países selecionados (1980-2012)**. Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

- SINNOTT, NASH; TORRE, 2010. **Natural Resources in Latin America and the Caribbean: beyond booms and busts?** Disponível em: <www.worldbank.org>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- STERN, D. I. The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1419-1439, 2004.
- STOCK, J. H.; WATSON, M. **Econometria**. São Paulo: Person Education. 2004.
- THORSTENSEN, Vera et al. **Brasil e União Europeia na OMC: relações econômicas, disputas comerciais, crise financeira e câmbio**. Ministério das Relações Exteriores, 2013. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/ficha-pais/5812-uniao-europeia>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- TINBERGEN, J. **Shaping the World Economy- Suggestions for an International Economic Policy**. New York: The Twentieth Century Fund, 1962.
- UNITED NATIONS, **Food and Agriculture Organization (FAO)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- VITOUSEK, P.; ERHLICH, P. R.; ERHLICH, A. H.; MATSON, P. Human appropriation of the products of photosynthesis, **Bioscience**, 34: 368-373. 1986.
- WANG, Z.K.; WINTERS, L.A. The trading potential of Eastern Europe. **Journal of Economic Integration**, v.7, n.02, p.113-136, 1992.
- WANG, P. et al. A risk based environmental Kuznets curve for us hazardous waste sites. **Applied Economics Letters**, v. 5, p. 761-763, 1998.
- WORLD BANK, **World Development Indicators**. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/>>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- YAO, Xing et al. Free Trade Agreements and Environment for Sustainable Development: A Gravity Model Analysis. **Sustainability**, 11, 597. 2019.

ANEXO A – EXPORTAÇÕES TOTAIS DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020

Exportações totais do Brasil para a União Europeia		
Ano	Valor FOB (milhões de US\$)	Kg líquido (em mil toneladas)
1997	13802.94	75444.86358
1998	13935.79	90483.48417
1999	12774.62	81907.02382
2000	13847.04	90680.36227
2001	13800.32	90361.87209
2002	13846.14	92960.92151
2003	16882.36	98877.90216
2004	22570.52	115722.8468
2005	24519.83	112800.5702
2006	28288.17	109783.9545
2007	37213.86	123612.2834
2008	42778.86	118677.0419
2009	30455.79	65448.88844
2010	38677.15	94673.25585
2011	47947.42	96543.2672
2012	44626.64	89530.86914
2013	43700.38	93115.93274
2014	38213.53	82759.17572
2015	31033.86	84121.14773
2016	30515.65	83582.3826
2017	32056.01	97156.89351
2018	39121.61	99101.68803
2019	32936.17	73801.17986
2020	21740.74	51670.52342

Fonte: MDIC (2020).

ANEXO B – EXPORTAÇÃO DA SOJA DO BRASIL PARA A UE DE 1997-2020

Exportação da Soja do Brasil para a União Europeia		
Ano	Valor FOB (milhões de US\$)	Kg líquido (em mil toneladas)
1997	3780.555157	13424.06885
1998	2744.780413	13698.34016
1999	2312.266656	14328.02616
2000	2588.943206	14194.47422
2001	3310.199258	18463.13692
2002	3237.04383	17980.74373
2003	4052.272426	19915.75337
2004	4812.209223	19318.81654
2005	4524.607957	20452.90271
2006	4146.089537	18136.6855
2007	4930.109163	17911.06779
2008	7410.637331	17747.25707
2009	6490.93988	16598.60659
2010	5362.182615	14692.68502
2011	6523.242911	14906.41209
2012	7269.730354	14805.19158
2013	7085.53551	13516.97864
2014	7491.728018	14598.1566
2015	5344.400257	13568.12112
2016	4718.022064	12740.78319
2017	4364.379496	12021.53605
2018	5210.38611	12923.78214
2019	4835.131808	13621.28241
2020	4845.183971	14187.83773

Fonte: MDIC (2020).

ANEXO C – TESTES ECONOMÉTRICOS PRELIMINARES

Teste de Hausman

```
. hausman fe re
```

	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
	(b) fe	(B) re		
ln_pibbr	1.040754	1.522605	-.4818506	-.1604586
ln_pibue	.2697058	1.519175	1.788881	.4250924
ln_camb	-.0519872	-.1411962	.0892091	
ln_sim	-2.006223	-3.306798	1.300575	.3922669
ln_co2br	.1119415	.6674723	-.5555308	.0631169
ln_co2eu	-.2996709	-.6826995	-1.3830286	-.369696

b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
 B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

Test: Ho: difference in coefficients not systematic

```
chi2(3) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
          = 26.02
Prob>chi2 = 0.0000
(V_b-V_B is not positive definite)
```

Teste Breusch-Pagan

Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects

```
ln_exp[id,t] = Xb + u[id] + e[id,t]
```

Estimated results:

	Var	sd = sqrt(Var)
ln_exp	.7450944	.8631885
e	.093709	.3061193
u	0	0

Test: Var(u) = 0

```
chibar2(01) = 0.00
Prob > chibar2 = 1.0000
```

Teste de Wooldridge

Wooldridge test for autocorrelation in panel data

H0: no first order autocorrelation

```
F( 1, 4) = 0.261
Prob > F = 0.8354
```

Teste de Wald

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ for all i

chi2 (5) = 0.01
Prob>chi2 = 1.0000

ANEXO D – TESTES ECONOMÉTRICOS APÓS ESCOLHA DO MODELO

Teste Breusch-Pagan

```

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
Ho: Constant variance
Variables: fitted values of ln_exp

      chi2(1)      =      0.00
      Prob > chi2  =      0.9583
  
```

Teste de White

```

. whitetst

White's general test statistic :  0.01276  Chi-sq(31)  P-value =  .7111
  
```

Teste de VIF e Tol

```

Teste de Multicolinearidade
. vif
  
```

Variable	VIF	1/VIF
ln_sim	11.62	0.086058
ln_pibbr	9.89	0.101112
ln_co2br	4.68	0.213527
ln_co2eu	3.25	0.308065
ln_dist	3.12	0.320630
ln_pibue	1.78	0.560727
ln_camb	1.43	0.701662
Mean VIF	4.25	0.235294

ANEXO E – *OUTPUTS DOS MODELOS*

Modelo Pooled

Source	SS	df	MS	Number of obs = 105		
Model	64.2883786	7	9.18405408	F(7, 97) =	67.48	
Residual	13.2014414	97	.136097334	Prob > F =	0.0000	
Total	77.48982	104	.745094423	R-squared =	0.8296	
				Adj R-squared =	0.8173	
				Root MSE =	.36891	

ln_exp	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pibbr	1.103571	.3030229	3.64	0.000	.704988	1.5021546
ln_pibue	1.465526	.0799046	8.34	0.000	1.024114	1.3069375
ln_dist	-7.306431	1.086926	-6.72	0.000	-9.463679	-5.149183
ln_camb	-.1411962	.1394045	-1.01	0.314	-.4178755	.1354831
ln_sim	2.533481	.475637	5.33	0.000	1.477489	3.589473
ln_co2br	.6674723	.1493921	4.47	0.000	.3709703	.9639743
ln_co2eu	-.6826995	.0614338	-11.11	0.000	.5607704	.8046286
_cons	23.12623	11.77688	10.45	0.000	9.752357	46.50021

Modelo de Efeitos Fixos

note: ln_dist omitted because of collinearity

Fixed-effects (within) regression

Group variable: id

Number of obs = 105

Number of groups = 5

R-sq: within = 0.6041

between = 0.0086

overall = 0.0343

Obs per group: min = 21

avg = 21.0

max = 21

corr(u_i, Xb) = -0.4865

F(6, 94) = 0.03

Prob > F = 0.8596

ln_exp	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_pibbr	1.040754	.3236289	3.22	0.002	.683327	1.3981812
ln_pibue	.2697058	.4315543	0.62	0.534	-.5871554	1.126567
ln_dist	0	(omitted)				
ln_camb	-.0519872	.1192265	-0.44	0.664	-.2887143	.1847399
ln_sim	2.006223	.5882021	3.41	0.001	0.174112	3.8383339
ln_co2br	.1119415	.1621781	0.69	0.492	-.210067	.4339499
ln_co2eu	-.2996709	1.071459	-0.28	0.780	-1.827735	2.427077
_cons	16.68297	12.30705	1.36	0.178	-7.752973	41.11891

sigma_u	1.0147218					
sigma_e	.30611927					
rho	.91658219	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(4, 94) = 0.07 Prob > F = 0.9708

Modelo de Efeitos Aleatórios

```

Random-effects GLS regression           Number of obs   =   105
Group variable: id                     Number of groups =    5

R-sq:  within = 0.5216                 Obs per group: min =   21
      between = 0.9943                    avg =   21.0
      overall = 0.8566                    max =   21

corr(u_i, X) = 0 (assumed)             Wald chi2(7)    =   579.39
                                           Prob > chi2     =   0.0000

```

ln_exp	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ln_pibbr	1.522605	.2810493	5.42	0.000	0.073451	.2717581
ln_pibue	1.519175	.0744016	10.42	0.000	1.664999	1.97335
ln_dist	-3.587872	.8029136	-4.47	0.000	-5.161554	-2.01419
camb	-.4921843	.2481826	-1.98	0.047	-.9786132	-.0057553
ln_sim	3.306798	.4383018	7.54	0.000	2.165854	4.447742
co2br	.0133103	.0033794	3.94	0.000	.0066868	.0199338
co2eu	-.6438017	-.0000137	-12.82	0.000	-.000149	.0002028
_cons	10.4734	9.559641	10.51	0.000	8.736418	19.20957
sigma_u	0					
sigma_e	.3053508					
rho	0	(fraction of variance to u_i)				