

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE TOLE
DOCENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
E AGRONEGÓCIO – PGDRA
DOUTORADO

Marco Aurélio Kasmin

**Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas:
O caso das exportações brasileiras
de açúcar**

Toledo-PR – Brasil

26 de Novembro de 2021

Marco Aurélio Kasmin

**Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas: O caso
das exportações brasileiras de açúcar**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio do Centro de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor

Orientador: Dr. Lucir Reinaldo Alves

Toledo-PR – Brasil
26 de Novembro de 2021

Kasmin, Marco Aurélio

Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas: O caso das exportações brasileiras de açúcar / Marco Aurélio Kasmin. – Toledo-PR – Brasil, 26 de Novembro de 2021.

138f.

Orientador: Lucir Reinaldo Alves

Tese (Doutorado - Desenvolvimento Regional e Agronegócio) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, *Campus* de Toledo, 26 de Novembro de 2021.

1. Modelo gravitacional. 2. Bens agrícolas. 3. Metodologia. 4. Comércio internacional. I. Alves, Lucir Reinaldo. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. III. *Campus* de Toledo. IV. Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas: O caso das exportações brasileiras de açúcar.

Marco Aurélio Kasmin

Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas: O caso das exportações brasileiras de açúcar

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Agronegócio do Centro de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor

Tese aprovada. Comissão examinadora:

Prof. Dr. Lucir Reinaldo Alves
Orientador

Prof. Dr. Jandir Ferrera De Lima
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
- Unioeste.

Prof^a. Dra. Mirian Beatriz Schneider
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
- Unioeste.

Prof^a. Dra. Augusta Pelinski Raiher
Universidade Estadual de Ponta Grossa -
UEPG.

Prof^a. Dra. Rubiane Daniele Cardoso de
Almeida
Fundação Getúlio Vargas - FGV.

Toledo-PR – Brasil, 26 de Novembro de 2021

*Dedicado aos amados avós Julião e Olympia Kasmin
em memória.*

Agradecimentos

Agradecer é preciso, pois tenho a necessidade de reconhecer que não seria capaz de percorrer esse caminho sozinho, nem de entregar o produto que o leitor tem em mãos, sem o apoio das pessoas aqui carinhosamente citadas. Não faço esse agradecimento em ordem de importância, e tenho a esperança de não cometer a injustiça de esquecer ou de fazer parecer menor a importância que tiveram neste processo.

De início agradeço a Marcela Ferrario, que me apoiou e estimulou em mim a ideia de que deveria ingressar no programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Agronegócio.

Ao Professor Marcelo Moraes, a época coordenador do programa de pós graduação em Gestão e Desenvolvimento Regional, que acreditou e redigiu carta de recomendação, necessária no processo seletivo, e que ao longo do processo apoiou e demandou que fizesse justiça a sua recomendação, espero ter atendido às expectativas.

No desenvolver das disciplinas muito me foi ensinado e assim agradeço a todos os meus mestres, o conhecimento que me foi passado e principalmente o exemplo, ambos permanecem comigo e serão utilizados e passado adiante.

Para além do conhecimento formal há os exemplos que sinto necessidade de destacar, de início a cobrança do Professor Shikida, que outrora parecia excessiva, ao final mostrou a nós que podíamos muito mais do que acreditávamos; A Professora Zelimar cujo pensamento crítico fazia desmoronar nossas ideias, fazendo com que as reestruturássemos de forma muito mais sólidas; Ao Professor Weimar pelo apoio e justas cobranças, sua amizade e o tempo cedido a mim enquanto estive em Toledo na múltipla missão de aluno do PGDRA e professor da graduação.

Ao longo dessa jornada fiz novos amigos e fui amparado por amigos de longa data, agradeço aos colegas da primeira e singular turma do Doutorado interinstitucional Unioeste-PTI, que se tornaram amigos, com quem convivi, aprendi e compartilhei dificuldades, aflições e alegrias. Agradeço ao João Passini que teve paciência para trabalhar comigo, que mais publicações nossas sejam aceitas.

Mais uma vez, agradeço a Leonardo Santin Gardenal, que a distância acompanhou essa jornada, ouviu, discutiu e cedeu material de grande valia. João Ferreira da Luz, que discutiu e cedeu material amplamente utilizado sobre as minúcias da econometria e do emprego das variáveis.

Agradeço a Alexandra Elbakyan que me ajudou com a cessão de diversos artigos utilizados e citados neste trabalho que, infelizmente, têm acesso restrito. “Para remover todas as barreiras no caminho da ciência”.

Nesse longo intervalo de tempo enquanto doutorando e atleta amador busquei simultaneamente as alcunhas de doutor e maratonista, tenho que agradecer duplamente ao meu amigo Elanderson Zaia, pelo apoio logístico e feliz companhia durante minhas duas primeiras maratonas e também pelo livro de econometria com o qual me presenteou e que fora muito utilizado ao longo desse processo doutoral e que guarda muitos paralelos com as atividades de *endurance*.

Em meio ao processo de escrita contribuições de ampla significância foram feitas pelos Professores Jandir de Lima e Mirian Schneider, que aceitaram estar na banca de qualificação, nesse momento o termo ‘destruição criativa’ teve novos significados para mim. E a Professora Augusta que participou do ‘segundo turno’ de minha qualificação e muito ajudou.

É necessário reconhecer os esforços de Leilane Benetta que ficou comigo lado a lado na *workstation* por tantas horas consecutivas ao longo de uma longa quarentena, situação singular na qual tive a felicidade de tê-la ao meu lado em tempos tão estranhos no mundo, e que durante esse período tantos parágrafos dessa tese leu e tantas vírgulas colocou no lugar correto, obrigado.

Agradeço a minha mãe que aturou neste período o auge de meu mau humor. O doutorado foi um período complicado pra mim, sobretudo a redação da tese e a quantidade interminável de revezes que o projeto sofreu, o que me fez, com frequência maior do que eu gostaria de admitir, ter um comportamento desagradável.

Por fim, preciso agradecer ao meu orientador, que me ajudou de diversas formas, quando o mundo foi acometido pela pandemia minha proposta de tese se tornou inviável, paciente esperou e por fim quando já não era mais possível aguardar me ajudou a recomeçar uma tese absolutamente nova, em outro tema nada correlato ao anterior, um momento de grande aflição para mim, perpassado com tranquilidade por ele, que me orientou e guiou para uma alternativa melhor.

Agradeço por todo o conhecimento cedido durante o processo de orientação, mas ainda mais por mudar, no último estágio da minha formação, contrapondo exemplos anteriores, o modo como eu entendia a relação orientador orientado, de todas as vicissitudes que passei no desenvolvimento dessa pesquisa, dos momentos que pensei não ser possível, quando cogitei desistir, o Professor Lucir Alvez mostrou que é possível e produtivo orientar com gentileza e bondade, assim, pelo conhecimento transferido eu agradeço ao meu orientador enquanto acadêmico, pela mudança na minha forma de entender essa relação, o apoiar, o orientar, o ensinar, o ser exemplo,

agradeço enquanto aluno e profissional, liberto de reproduzir no futuro os erros antes aprendido.

Esse registro é pouco para manifestar de forma proporcional minha gratidão às contribuições, ao apoio e ao afeto que tive a felicidade de ter nesses 5 anos, mas fora feito com justo carinho que tenho por todos.

“We can evade reality, but we cannot evade the consequences of evading reality.”

Ayn Rand.

KASMIN, Marco Aurélio. Modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas: O caso das exportações brasileiras de açúcar 26 de Novembro de 2021. 138 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, Paraná – Brasil.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a evolução e alternativas metodológicas do método quantitativo denominado “modelo gravitacional de comércio internacional”, quando aplicado para auxiliar na explicação do comércio de bens agrícolas. Os bens agrícolas têm especificidades em seus processos produtivos, associadas aos locais e aos fatores de produção, sobretudo à terra e à condição climática. Não podem, portanto, ser tratados da mesma forma que bens manufaturados, que podem ter seu processo produtivo e fatores de produção alocados e realocados para qualquer parte do globo, permitindo um melhor ajuste dos processos produtivos, como preconiza a divisão internacional do trabalho. A maior rigidez dos fatores de produção para bens agrícolas é uma característica descrita na teoria de comércio internacional e que tem sido relegada na aplicação do modelo gravitacional, reduzindo a capacidade explicativa do modelo quando aplicado e, conseqüentemente, ampliando a possibilidade de incorrer em erros de magnitude, significância estatística e interpretação dos efeitos marginais ao avaliar quais e quanto os fatores impactam nos fluxos unilaterais ou bilaterais de comércio. A primeira parte deste trabalho faz um levantamento histórico e teórico do modelo gravitacional, suas diferentes aplicações e as adaptações adotadas para abarcar as várias características do comércio internacional, seja do processo produtivo, da legislação, dos acordos comerciais, dos custos de transporte, entre outros. A pesquisa contempla mais de 50 anos de história, desde o surgimento do modelo, seu processo de evolução e sua consolidação enquanto instrumental de análise. A segunda parte consiste em uma revisão bibliográfica de trabalhos que aplicaram o modelo para a análise do comércio internacional, especificamente à bens agrícolas, e focam no padrão de adaptações metodológicas - quando houve -, e nas justificativas dessas adaptações. Na última parte deste trabalho faz-se uma proposta metodológica derivada do modelo de dotação de fatores, passível de ser utilizada na aplicação do modelo no estudo do comércio unilateral ou bilateral de bens agrícolas, incluindo variáveis que reflitam minimamente a natureza do processo agrícola e que estejam alinhadas no que tange a fatores específicos para análise do comércio internacional. A conclusão é desfavorável à aplicação do modelo gravitacional para bens agrícolas, não há na literatura convergência para a adoção de características desses produtos. Problemas estatísticos como a unilateralidade dos fluxos, ausência de comércio em períodos pontuais, assim como a presença de valores zeros ou nulos reduzem a robustez do modelo.

Palavras-chave: Modelo gravitacional; Bens agrícolas; Metodologia; Comércio internacional.

KASMIN, Marco Aurélio. Gravitational model applied to agricultural goods: The case of Brazilian sugar exports. 26 de Novembro de 2021. 138 p. Thesis (Philosophiae Doctor in Regional Development and Agribusiness) - Western Paraná State University - UNIOESTE. Toledo, Paraná – Brazil.

Abstract

This work aims to analyze the evolution and methodological alternatives of the quantitative method called “gravitational model of international trade”, when applied to help explain the trade of agricultural goods. Agricultural goods have specific features in their production processes, associated with locations and production factors, especially land and weather conditions. Therefore, they cannot be treated in the same way as manufactured goods, which can have their production process and production factors allocated and relocated to any part of the globe, allowing for a better adjustment of production processes, as recommended by the international division of labor. The greater rigidity of production factors for agricultural goods is a characteristic described in international trade theory and which has been relegated in the application of the gravitational model, reducing the explanatory capacity of the model when applied and, consequently, increasing the possibility of incurring in trade errors. magnitude, statistical significance and interpretation of marginal effects when assessing which and how much factors impact unilateral or bilateral trade flows. The first part of this work makes a historical and theoretical survey of the gravitational model, its different applications and the adaptations adopted to encompass the various characteristics of international trade, whether the production process, legislation, trade agreements, transport costs, among others. The research covers more than 50 years of history, from the emergence of the model, its evolution process and its consolidation as an analytical tool. The second part consists of a literature review of works that applied the model to the analysis of international trade specifically to agricultural goods, focusing on the pattern of methodological adaptations - when there were -, and on the justifications for these adaptations. In the last part of this work, a methodological proposal is made, derived from the factor endowment model, which can be used in the application of the model in the study of unilateral or bilateral trade in agricultural goods, including variables that minimally reflect the nature of the agricultural process and that are aligned with regard to specific factors for the analysis of international trade. The conclusion is unfavorable to the application of the gravitational model for agricultural goods, there is no convergence in the literature for the adoption of characteristics of these products. Statistical problems such as the one-sidedness of flows, the absence of trade in specific periods, as well as the presence of zero or null values reduce the robustness of the model.

Key-words: Gravity model; Agricultural goods; Metodology; International trade.

Lista de ilustrações

- Figura 1 – Para uma indústria típica têxtil e de alimentos, (a) demonstra o rendimento marginal do trabalho, (b) o custo marginal e (c) a fronteira de produção côncava..... 32
- Figura 2 – Para uma indústria típica têxtil e de alimentos, (a) ilustra um aumento na disponibilidade de fatores flexíveis e (b) ilustra um aumento na disponibilidade de fatores específicos do setor de alimentos.....33
- Figura 3 – Classificação climática de Köppen-Geiger, por países. Legenda descritiva no Apêndice A.....37
- Figura 4 – Mercado potencial ponderado pela população43
- Figura 5 — Distribuição espacial do consumo mundial *per capita* de açúcar do Brasil em 2015 (dólares por habitante).....98
- Figura 6 — Faixa na qual o clima atual permitiria, havendo característica no terreno, produzir cana-de-açúcar.....99

Lista de quadros

Quadro 1 – Variáveis empregadas, código unidade de mensuração e origem dos dados.....	79
Quadro 2 – Variáveis construídas, Código e forma de construção.....	80
Quadro 3 – Países que importaram açúcar do Brasil no período 2011-2015.....	81
Quadro 4 – Países que importaram açúcar do Brasil em 2016.....	84
Quadro 5 – Estatística descritiva do consumo mundial <i>per capita</i> de açúcar do Brasil em 2015 (em dólares por habitante).....	98
Quadro 6 – Somatório do Erro ao quadrado ($\Sigma\mu^2$), Variância (σ^2) e desvio padrão (σ) do emprego dos modelos estimados para os dados de 2016 das exportações brasileiras de açúcares	104

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados da primeira etapa da RBS	75
Tabela 2 — Exemplos de variantes possíveis para os termos utilizados, na primeira etapa da RBS.....	76
Tabela 3 – Resultados da estimação da Equação 3.1.....	99
Tabela 4 – Resultados da estimação da Equação 3.2.....	101
Tabela 5 – Resultados da estimação da Equação 3.3.....	102

Lista de abreviaturas e siglas

AGROSTAT	Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro - MAPA.
APC	Acordos Preferenciais de Comércio.
APEC	Asian Pacific Economic Cooperation.
BNT	Barreiras não tarifárias.
CAFe	Comunidade acadêmica federada.
CEPII	Centro francês de pesquisa e expertise na economia mundial.
CCE	Comunidade Comum Europeia.
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight.</i>
EA	Efeitos aleatórios.
EF	Efeitos fixos.
EV	Efeitos variáveis.
EMBRAPA	Empresa brasileira de pesquisa agropecuária.
FAO	<i>Food and Agriculture Organization.</i>
FOB	<i>Free On Board</i>
GATT	Acordo Geral de Tarifas e Comércio.
GDP	<i>Gross Domestic Product.</i>
GLM	<i>Generalized Linear Models</i>
GSP	<i>Generalised System of Preferences.</i>
HS	<i>Harmonized Sistem.</i>
ILOSTAT	<i>International Labour Organization Data.</i>
ISIC	<i>International standard industrial classification.</i>
IED	<i>Investimento Estrangeiro Direto.</i>

M&A	<i>Mergers and Acquisitions.</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MDIC	Ministério de Indústria e Comércio exterior.
ME	Ministério da Economia.
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MG	Modelo gravitacional.
MLG	Modelos Lineares Generalizados.
MQO	Mínimos quadrados ordinários.
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul.
NEI	Nova economia institucional.
NGE	Nova geografia econômica.
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
OMA	Organização mundial Aduaneira.
OIC	Organização Internacional do Comércio.
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto.
PNB	Produto Nacional Bruto.
PMLL	<i>Poisson Pseudo Maximum Likelihood.</i>
PPMV	Poisson Pseudo Maxima Verossimilhança.
RBS	Revisão bibliográfica sistemática.
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa.
SH	Sistema Harmonizado.
SITC	<i>Standard International Trade Classification.</i>

SUR	<i>Seemingly Unrelated Regressions.</i>
TPP	Tratado de Parceria Transpacífica.
UE	União Europeia.
UF	Unidade Federativa.
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development.</i>
UN Comtrade	United Nations Commodity Trade Statistics Database.
ZARC	Zoneamento agrícola de risco climático.

Sumário

1	Introdução.....	18
1.1	Justificativa e Descrição do Problema.....	21
1.2	Objetivos	26
1.2.1	Objetivo Geral	26
1.2.2	Objetivos específicos	26
1.3	Estrutura do trabalho.....	26
2	Revisão teórica.....	28
2.1	Modelos de comércio internacional.....	28
2.1.1	Rigidez dos fatores	31
2.1.1.1	Condições edafoclimáticas	36
2.2	O modelo gravitacional na análise regional.....	39
2.3	Da proposição do modelo gravitacional para o comércio internacional .	
442.3.1		
	Massa - fatores positivos.....	53
2.3.2	Distância - fatores negativos	57
2.4	Questões metodológicas do modelo gravitacional	65
3	Metodologia	71
3.1	Composição do portfólio bibliográfico.....	71
3.2	Teste empírico	77
4	Resultados.....	86
4.1	Resultados da revisão de literatura e crítica	86
4.2	Resultados do teste empírico.....	96
5	Conclusão.....	106
	Referências	110
	Apêndices	121
	APÊNDICE A Legenda da classificação climática de Köppen-Geiger.....	122
	APÊNDICE B Autores que publicaram sobre o tema ao longo do tempo .	124
	APÊNDICE C <i>Outputs</i> das estimativas	126

1 Introdução

O modelo gravitacional para o comércio internacional, inicialmente desenvolvido por [Tinbergen \(1962\)](#), uma evolução do trabalhos de [Christaller \(1966\)](#), carrega um título, uma formalização matemática e econométrica, e um histórico que remete às equações e leis da física newtoniana, que aparentam ser muito mais pesados e complexos do que sua construção à luz da teoria do comércio internacional, e têm uma aplicação empírica bem intuitiva e amigável.

O objeto do modelo supracitado é o ‘fluxo econômico’ resultante da interação entre duas ‘localidades’, ou seja, a variável explicada é a soma das transações realizadas entre cada par de localidade analisada. Embora mais conhecido em sua aplicação para o comércio internacional, o modelo gravitacional não foi utilizado exclusivamente para essa finalidade, tendo sido usado em muitos trabalhos para análise inter-regional, como proposto inicialmente no trabalho de [Isard \(1960\)](#). Ou seja, o conceito de ‘localidade’ se mostrou apto a uma larga escala espacial, podendo analisar o fluxo econômico entre regiões de um mesmo país ou de uma mesma unidade federativa. Porém, foi na análise dos fluxos entre países que o modelo se consolidou e para o qual produziu o maior conjunto de trabalhos empíricos.

Sendo de grande interesse para os economistas os motivos ou os determinantes dos fluxos de comércio entre as nações, fica fácil entender que a migração do modelo para essa área seria inevitável. Para análise do comércio internacional, as diferentes ‘localidades’ foram definidas pelas fronteiras nacionais e o ‘fluxo econômico’, ou seja, a interação entre essas localidades, passou a ser relativo aos volumes e valores de bens e serviços transacionados.

Outro fator que contribuiu para o uso do modelo gravitacional no comércio internacional são suas premissas básicas: “a interação entre grandes aglomerados econômicos é mais forte do que entre os aglomerados menores, e mais forte entre os aglomerados próximos do que entre os mais distantes”¹. Embora essa definição de [Bergeijk \(2010, p. 01\)](#) pareça vaga de início, a mesma se alinha às bases dos modelos teóricos que fundam a área de economia internacional, em que maiores economias tendem a ter maiores fluxos internacionais, ao mesmo tempo em que países mais distantes enfrentam maiores custos para transacionar.

¹ Tradução nossa

A simplicidade e adaptabilidade do modelo gravitacional permite a inclusão de questões e características de toda natureza citadas ou aventadas pelos teóricos do comércio internacional, enquanto variáveis do modelo econométrico. Essas características fazem com que muitas vezes esse modelo seja utilizado para corroborar uma teoria, buscando nele a significância estatística para uma nova variável inserida, que representa uma nova questão debatida na teoria.

O modelo gravitacional, inicialmente pensado por Jan Tinbergen (1962) para observar os fluxos entre países, tem como foco o volume de exportações. No entanto, como já foi dito, não contempla características distintivas entre os produtos ou acerca da natureza do processo produtivo desses bens.

Esse modelo, proposto em 1962, embora pareça ter uma apresentação tímida ao ser relegado ao sexto apêndice do livro de Tinbergen (1962), apresentou desde o início uma profusão de variáveis e especulações acerca das características que teriam maior impacto no volume do fluxo de exportações.

Mesmo que o autor tenha destacado que o modelo gravitacional era ainda uma proposta em desenvolvimento, em sua primeira apresentação ele já reúne um conjunto de características e categorias diferentes de variáveis (contínuas, categóricas e índices), que refletem as estruturas socioeconômicas, posição espacial relativa e elementos históricos, como, por exemplo, a relação entre metrópole e colônias. Não inclui, no entanto, nenhuma variável sobre as limitações produtivas, mesmo quando abordou o fluxo de *commodities*, tendo como premissa que essa capacidade produtiva pudesse ser desenvolvida em qualquer lugar.

O leitor pode então estar se perguntando: que influência teria a natureza do processo produtivo na capacidade de exportação de um país? A resposta é a limitação que a natureza impõe aos produtos agrícolas nos diferentes pontos da superfície terrestre. Se manufaturas podem ter máquinas, instrumentos, matéria-prima e mão de obra reunidos em qualquer parte do planeta - desconsiderando aqui os custos dessa alocação -, a produção agrícola não pode ser realizada em qualquer ponto do globo. Ela é dependente não apenas da disponibilidade do fator terra em extensão, mas do tipo de solo e relevo, das condições climáticas, de incidência de radiação solar, entre tantos outros fatores naturais.

Diferentemente de bens de capital, condições edafoclimáticas não podem ser reunidas em qualquer ponto da superfície terrestre. Países que não possuem condições naturais para a produção de dado cultivar serão importadores deste produto

independentemente de qualquer outra característica socio-econômica.

Uma nação que avance no desenvolvimento de tecnologias produzirá com elevado custo e baixa produtividade relativa, quando comparada às regiões propícias para o cultivar. Ou então será uma nação importadora e, neste caso, incorrerá em custos de transporte. Ambos os fatores - custo de tecnologias e custo com transporte - ,serão mais elevados quanto mais distante fisicamente a nação estiver do território com condição edafoclimática para este dado cultivar.

Esses dois vetores são antagônicos, porém igualmente relacionados à distância entre localidades. Isto é, as tecnologias para a produção são negativamente correlacionadas com o volume de comércio internacional, visto que quanto maior a capacidade de adaptar a produção independente dos fatores naturais menor a dependência do país em relação aos produtores que detêm os fatores naturais. Enquanto as tecnologias de transporte são positivamente correlacionadas com este volume.

Segregar esses efeitos sobre os fluxos comerciais é importante para compreendê-los e também para observar a mudança dos padrões tecnológicos e seu impacto no fluxo comercial ao longo do tempo. A inovação, diferente da invenção, não basta existir tecnicamente, mas ter seu emprego de forma a alterar o padrão até então vigente. Melhores tecnologias de transporte levarão a maiores fluxos comerciais, bem como melhores tecnologias produtivas como, por exemplo, a adaptação de cultivares, poderão levar a uma redução dos fluxos comerciais.

Um exemplo recente em evolução é a exportação de soja² da Federação Russa, que dado à adaptação de cultivares - fator tecnológico - e mudanças climáticas passou a produzir soja em territórios ao leste do país, antes não utilizado para essa finalidade. Embora o volume líquido transacionado, exportação menos importação, seja negativo à trajetória de exportação, é ascendente, alcançando 23 milhões de dólares em 2014, passando para 133 milhões em 2016, e chegando a 290 milhões em 2018. Sendo os principais importadores da soja russa as nações contíguas como China, Cazaquistão e Uzbequistão, que importaram 85% do soja russo em 2018 ([WORLD BANK, 2021](#)).

É importante segregar os efeitos desses dois vetores para não incorrer em erro nas análises e também para acompanhar a evolução dos determinantes desses fatores e seus impactos no comércio internacional. [Linders \(2006\)](#), por exemplo, afirma que a magnitude do coeficiente associado à distância tem caído ao longo dos anos, fruto da evolução das tecnologias de transporte. A inclusão das condições necessárias para

a produção agrícola poderia permitir acompanhar o impacto da evolução tecnológica nesse processo, que assim como a magnitude do coeficiente associado à distância, tenderia a mudar ao longo dos anos.

Isso significa que o avanço dos meios de transporte, de logística e de outras tecnologias que reduzem os custos de transação interferem de maneira positiva no comércio entre os países. Já a evolução tecnológica na produção e na adaptação de gêneros agrícolas reduz a propensão ao comércio. Segregar esses dois vetores e acompanhar os seus avanços do ponto de vista científico é justificativa para o estudo do modelo gravitacional aplicado a bens agrícolas.

Esta é a contribuição que este trabalho busca agregar à literatura. Não visa refutar ou criticar o modelo gravitacional aplicado aos bens agrícolas, mas sim verificar se a natureza desses bens pode aglutinar em um vetor duas relações distintas - o fator tecnológico associado à distância, e o fator tecnológico associado à produção enquanto limitada ao fator natural.

Este trabalho não ignora as questões políticas, o protecionismo, as características do bem agrícola como insumo e alimento, ou a cartelização do mercado mundial de alguns bens, apenas não os tem como foco. Segregar os elementos que influenciam no comércio - técnicos e políticos -, é necessário para o entendimento de ambos. Do contrário, corre-se o risco de tomar um pelo outro nas análises, incorrendo em erro.

1.1 Justificativa e Descrição do Problema

É de longa data o interesse dos economistas pelos determinantes do comércio entre diferentes grupos de pessoas, sociedades ou entre nações. Nessa extensa literatura, teórica e empírica, surgiu a proposição do modelo gravitacional como instrumento analítico empirista.

Desde que foi apresentado, o modelo foi utilizado para analisar um amplo conjunto de bens e serviços, em diversos períodos de tempo, para um plural conjunto de regiões. Neste caso, o conceito de região se estende da análise intra regional aos blocos econômicos, sendo para isso adaptado, ampliado, melhorado e tornando-se cada vez mais útil, o que resultou na produção de um volumoso conjunto de trabalhos ancorados neste método.

O problema abordado nesse trabalho está no conjunto de aplicações do modelo gravitacional para bens agrícolas, mais precisamente aquelas feitas - isso pressupondo

que foram realizadas -, no modelo para inserir as características intrínsecas desse gênero de bens. Diferentemente das manufaturas, os produtos agrícolas não podem ter seus insumos reunidos para produção em qualquer lugar no espaço. O elemento terra, de sua definição mais estreita até a mais ampla - que contempla as condições edafoclimáticas -, possui como característica irredutível a rigidez de sua mobilidade.

As condições edafoclimáticas, como solo, clima, precipitação, altitude em relação ao nível do mar, luminosidade, ventos, entre outras, constituem os zoneamentos ou mapeamentos agrícolas. Essas características são intrínsecas e indissociáveis da produção agropecuária. Exemplo da importância dessa realidade é o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC, que utiliza recursos públicos para fornecer informações ao setor produtivo e financeiro nacional com “o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares” (MAPA, 2020).

Assim, entende-se que o modelo precisa contemplar todas as características e variáveis previstas na teoria para então verificar sua validade e magnitude em trabalhos empíricos. Precisa ainda contemplar elementos específicos do mercado, setor ou produto que está avaliando.

Sendo assim, argumenta-se aqui que bens agrícolas não podem ser tratados utilizando o modelo gravitacional da mesma forma em que o método é utilizado, com grande sucesso, para manufaturas. Os países que simplesmente não têm condições naturais de produzir determinados bens agrícolas serão, independentemente de outras características, importadores desses produtos se os desejarem consumir.

A título de exemplo, considere a capacidade de produção de frutas tropicais no Brasil e na Holanda. Em 2020, o fluxo desse gênero de produtos somou 302 milhões de dólares (valor FOB), ou 4,1% de todo o valor exportado pelo Brasil para a Holanda (COMEX STAT, 2021). Não se pode concluir que esse volume de exportações se dá apenas por características comerciais, ignorando a natureza do processo produtivo, ou seja, pela incapacidade da Holanda de produzir frutas tropicais fora da zona tropical.

É importante destacar que o processo de produção de manufaturas é possível, com custos mais elevados, em qualquer país. A história econômica reúne diversos exemplos de sociedades que buscaram o desenvolvimento econômico de base industrial, desenvolvendo a capacidade e as características associadas ao processo industrial por meio de políticas públicas. No entanto, a capacidade de desenvolver meios para a produção em processos que incluam variáveis da natureza é, no mínimo, limitada, pois o fator terra enquanto espaço e as condições edafoclimáticas a esse es-

paço associadas não são, em nenhuma hipótese, transacionáveis, não sendo portanto apenas uma questão de custo.

O exemplo da importação de frutas tropicais pela Holanda não foi escolhido por acaso, e ilustra outra questão acerca da aplicação do modelo gravitacional para bens agrícolas: o vetor distância. Quanto maior a distância entre duas 'localidades', maior serão os custos de transação, sendo o custo do transporte o mais evidente. Assim, o vetor distância deve, para o modelo gravitacional, aglutinar todas as variáveis e características que reduzem a propensão ao comércio exterior. No entanto, ao considerar os fatores naturais, quanto mais distante se estiver do local ótimo para a produção, menor será sua capacidade de produzir e maior a propensão à importação. No caso das frutas tropicais, os mercados norte-americanos, europeus e japoneses, todos grandes demandantes desses produtos, se situam ao norte do trópico de câncer, distantes da região ótima para a produção.

Mesmo que se argumente a capacidade de adaptação de plantas por seleção antropológica e o uso de capital produtivo, como estufas, há que se considerar o elevado custo desses processos, o tempo e a produtividade. Ou seja, se uma nação além dos trópicos demanda frutas tropicais, ela o fará com elevados custos de produção e baixa produtividade, ou com elevados custos de transporte.

A questão é, então, que esses vetores têm sinais inversos, ou seja, interferem de forma antagônica na propensão ao consumo de frutas tropicais importadas. Elevados custos de produção e baixa produtividade local tendem a ampliar a propensão ao consumo de importados, enquanto elevados custos de transporte tendem a reduzir a propensão ao consumo de importados. Buscar o entendimento de meios para segregar esses efeitos e suas magnitudes é uma das justificativas deste trabalho.

Entender de que forma os teóricos da economia internacional abordam as diferenças entre os produtos e como essas diferenças afetam o comércio internacional é uma das justificativas deste trabalho. É possível ilustrar aqui que essa diferenciação existe: pode-se citar os bens transacionáveis (*tradable*) e não-transacionáveis (*non-tradeable*), cuja ausência deste último nos fluxos internacionais se dá por sua inviabilidade. São produtos que não podem, como as residências, serem transportados, ou produtos cujos custos de transação, sobretudo os custos de transporte, inviabilizam o comércio.

Além disso, este trabalho e todo os esforços aqui contidos se justificam ao perceber a importância do agronegócio para a economia brasileira e a importância da produção do agro brasileiro para o mundo. Esses elementos são unidos pelos processos de importação e exportação. Os meios de análise e compreensão dessas relações são de suma importância.

Para a sociedade brasileira, o agronegócio representa 21% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo a agropecuária responsável por 4,4% do PIB em 2019, segundo o Ministério da [Economia \(2020a\)](#). Os setores agrícola e pecuário empregavam aproximadamente 8,4 milhões de pessoas em 2020, valor estimado pelo [IPEA \(2020\)](#), dados anteriores à crise da COVID-19.

A produção agropecuária brasileira é capaz de alimentar mais de 800 milhões de pessoas, estimativa dos pesquisadores da Embrapa [Contini e Aragão \(2020\)](#), um quantitativo muito superior à população brasileira. Isso confirma que o Brasil é um grande exportador de produtos dos gêneros agropecuário e agroalimentar.

É relevante, portanto, a participação dos produtos agropecuários na pauta de exportações brasileiras, representando 19,09% de todo o valor exportado em 2019, utilizando a classificação ISIC³ para os dados do [MDIC \(2021\)](#). Demonstra, ainda, fundamental importância no saldo da balança comercial e na geração de divisas estrangeiras.

Como parte de uma enorme cadeia produtiva global, que vai dos insumos, metal mecânica e sementes, até o produto final - alimento, fibras, tecidos, entre outros -, o agro brasileiro é parte de uma cadeia que gera emprego e renda aqui e em outros países, ao demandar insumos. O agro brasileiro integrado às cadeias produtivas mundiais e à análise de determinantes das exportações e importações é fator relevante para o entendimento da economia brasileira ([EMBRAPA, 2018](#)). Assim, os métodos para essa análise são de igual importância.

Une-se à importância desse gênero de produtos para a economia brasileira e mundial à necessidade latente da busca pelo conhecimento e de ter alternativas de resposta para as dúvidas apresentadas nesta introdução. Para isso, busca-se a explicação de como o modelo tem sido utilizado para avaliar esse gênero de produtos e como decompor os vetores sobrepostos à distância. E, ainda, sobre qual parte da distância impacta nos custos de transação e qual reflete os impeditivos às condições

³ A ISIC é uma classificação de atividades econômicas de referência utilizada para classificar dados estatísticos nos campos da população, produção, emprego e outras estatísticas econômicas. A ISIC tem por finalidade principal estabelecer uma classificação uniforme das atividades econômicas produtivas. ([ONU, 2008](#))

naturais requeridas para a produção.

Assim, esse trabalho se soma à literatura de análise dos determinantes de importação e exportação de produtos agrícolas, sendo crucial às cadeias produtivas. Buscando verificar e sistematizar as diferentes abordagens metodológicas utilizadas na literatura do modelo gravitacional até o presente momento.

Essa sistematização é necessária para o entendimento e debate das características, bem como compreender como elas são inseridas no modelo gravitacional, e quais são os elementos que percorreram o caminho acadêmico para tornarem-se canônicos.

É neste conjunto da literatura que este trabalho busca se somar. Frente a tantas características passíveis de serem inseridas no modelo gravitacional, estão, por exemplo, atributos dos países analisados; os acordos bilaterais ou multilaterais de comércio; as formas de medir o tamanho das economias e a distância entre os países; elementos legais; e tarifas alfandegárias existentes.

Esse trabalho não é, portanto, uma crítica ao modelo gravitacional, mas sim uma crítica a sua aplicação à análise de bens agrícolas sem que se promova nenhuma adaptação para as especificidades deste gênero de produtos. Visa sistematizar como diferentes autores têm feito a inclusão dessas características, e se alguma dessas formas têm convergido a um padrão, podendo se tornar cânone nesta literatura.

Nesse sentido, este trabalho tem como hipótese a necessidade de emprego de variáveis que reflitam características singulares do processo produtivo agrícola em uma análise empírica que utilize o modelo gravitacional. Espera-se que, com essas variáveis, o modelo possa refletir melhor as estruturas produtivas, a disponibilidade dos fatores de produção em cada região e também, em uma análise temporal, as mudanças promovidas por fatores tecnológicos que alterem o emprego dos fatores naturais.

Além das características supracitadas, existem outras inúmeras variáveis que interferem no comércio internacional. Este trabalho, no entanto, propõe-se a focar nas características dos produtos agrícolas, e utiliza como objeto dos testes empíricos as exportações brasileiras de açúcares.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a relevância quanto à inclusão das características específicas dos produtos agrícolas no modelo gravitacional de comércio

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a evolução teórica e conceitual do 'modelo gravitacional de comércio' com foco nas diferentes abordagens metodológicas implementadas para incluir no modelo diferentes características levantadas pela teoria econômica.
- Realizar um levantamento bibliográfico da aplicação do modelo para bens agrícolas, e analisar as diferentes abordagens metodológicas utilizadas para essa aplicação.
- Propor alternativas de procedimentos metodológicos que visam inserir no modelo características específicas e relevantes do processo produtivo agrícola de cada país.

1.3 Estrutura do trabalho

Sumarizando, este trabalho inquirir se os estudos empíricos aplicados a bens agrícolas que usam em sua metodologia o modelo gravitacional o adaptaram para as especificidades dos bens objeto da análise.

Entende-se aqui o conjunto de bens agrícolas e agropecuários aqueles que, em função da sua natureza produtiva, não podem ser elaborados em qualquer parte do globo, como são as manufaturas, que podem ter seus insumos reunidos em qualquer lugar, desconsiderando aqui os custos, mas sim os impeditivos naturais. Assim, a fim de ilustrar de que produtos versa esse trabalho, são utilizadas como referência as classificações internacionais e nacionais aduaneiras, como ISIC - *International Standard Industrial Classification*, em sua seção 'A', HS - *Harmonized System*, em suas seções I e II, e na NCM - Nomenclatura comum do Mercosul, derivada do HS, também seções I e II (WCO, 2020) e (ECONOMIA, 2020b).

Para responder essa questão, este trabalho possui três partes, além desta introdução. A primeira é composta por uma revisão teórica sobre o modelo gravitacional

e sua evolução conceitual. Esta etapa é necessária para entender o modelo e as alternativas metodológicas que lhe são aplicáveis.

A segunda parte é composta por uma revisão de literatura, na qual está reunida a mais recente literatura empírica com aplicação do modelo gravitacional para a análise de bens agrícolas, agropecuários e agroalimentares. Nesta etapa, buscou-se compilar todas as estratégias e adaptações dos modelos compostos pelos mais diversos autores, assim como os resultados encontrados.

Na terceira e última parte do trabalho, baseando-se nas duas partes anteriores e na disponibilidade de informações existente atualmente, sugere-se adaptações cabíveis aos processos metodológicos quando da aplicação do modelo gravitacional para a análise de bens agrícolas, agropecuários e agroalimentares.

Ao final do texto é disponibilizado o conjunto de anexos resultante dos procedimentos metodológicos aplicados para a composição das bases bibliográficas utilizadas.

2 Revisão teórica

Esta revisão teórica busca recuperar dois conjuntos de elementos que serão relacionados para alcançar os objetivos deste trabalho. O primeiro conjunto é referente aos modelos teóricos de economia internacional, sobretudo os que têm como destaque a rigidez dos fatores de produção. A realocação dos fatores produtivos entre diferentes setores, ou até mesmo nações, sempre foi preconizada como comportamento natural que leva ao equilíbrio dos retornos entre os diferentes setores ou regiões. No entanto, essa realocação não se dá de forma instantânea ou sem custos, ou, como é advogado neste conjunto de teorias, nem sempre é fisicamente possível.

O segundo conjunto de elementos é referente a proposição, constituição, evolução e características do modelo gravitacional de comércio internacional. Nesta parte, é feita a revisão das bases do modelo e, em parte subsequente, da literatura empírica. O objetivo é entender como diferentes elementos teóricos foram incluídos no modelo gravitacional para então abordar a rigidez de fatores como elemento passível de análise, utilizando este modelo.

2.1 Modelos de comércio internacional

Há várias proposições de modelos teóricos para explicar o nível de integração e o fluxo comercial entre diferentes nações. Cada um tem, usualmente, um elemento central e sua cadeia de causalidades, chegando então a conclusão das causas e consequências. O objetivo desta seção não é discutir um modelo específico, mas uma característica em particular abordada por alguns modelos: a rigidez dos fatores de produção.

Desde que [Ricardo \(1996\)](#) desenvolveu o conceito de vantagem comparativa, publicado originalmente em 1817, a perspectiva de análise econômica sobre o tema tomou novas formas, destoando das análises mercantilistas ou das vantagens absolutas.

Os mercantilistas defendiam a ideia de que uma nação deveria buscar a máxima autossuficiência e exportar excedentes em troca de metais preciosos. “Os mercantilistas tendiam a associar a riqueza de uma nação com o montante de ouro e prata que ela possuía” ([BRUE, 2006](#), p. 14). Não se percebia restrições à capacidade produtiva ou às diferenças entre as nações.

Posteriormente, e considerando as diferenças entre as nações, [Smith \(1996\)](#) afirma que cada produtor tem suas especificidades e a riqueza é auferida por aquele que consegue produzir com os menores custos e, conseqüentemente, obter as maiores margens de lucro. Nesta forma de pensamento apenas um produtor seria o mais eficiente e este deveria produzir tal produto. A vantagem é, portanto, absoluta.

David Ricardo [1996](#), por sua vez, põe a vantagem produtiva em função do custo de oportunidade. O melhor produtor não é aquele que detém o menor custo de produção em termos absolutos, mas aquele que percebe a maior perda de rendimento em deixar de produzir o bem *a* para produzir o bem *b*.

A vantagem para a produção de determinado bem é, então, relativa ao custo de oportunidade. Nesta relação são contabilizadas as diferenças e especificidades de cada produtor, assim como do local no qual ele está inserido e os recursos que têm à disposição para produzir os bens em análise, aqueles que de fato produz e suas alternativas, e o custo de oportunidade. A conclusão de ambos os pensadores, Adam Smith e David Ricardo, leva a uma especialização produtiva.

Mais de um século depois, os economistas Eli Hecksher (1879 - 1952) e Bertil Ohlin (1899 - 1979) desenvolveram de forma independente suas ideias, que posteriormente se unem, já que Hecksher fora mentor de Ohlin, e a síntese é publicada por Ohlin em 1933 ([FLAM; FLANDERS, 2000](#)).

Os autores demonstram a importância dos fatores de produção à disposição dos produtores locais - volume e facilidade de acesso. Ou seja, em uma análise na qual se mantenha constante a produtividade dos fatores, sobretudo do capital humano, e o mesmo nível de tecnologia, haveria ainda tendência à especialização dos produtores locais nos setores cujo processo utiliza de forma intensiva o fator de produção abundante no local. [Bernhofen e Brown \(2016, p. 54\)](#) afirmam que a transição da economia japonesa na segunda metade do século XX é forte indício da validade da teoria de Hecksher e Ohlin, e a resume da seguinte forma: “em um equilíbrio comercial, uma economia irá, em média, exportar os serviços de seus fatores abundantes e importar os serviços de seus fatores escassos.”¹.

Ou seja, a disponibilidade de recursos de cada produtor, no caso nação, é determinante das pautas de importação e exportação. Essa conclusão é possível mesmo mantendo a existência dos fatores em ambos os países sob análise, variando o

¹ Tradução nossa

volume ou a facilidade de obtenção.

Os países tendem a se especializar na produção cujos insumos são mais abundantes, logo é viável interpretar que tais nações estão exportando os insumos que detêm e importando aqueles que não possuem. Ambas as teorias de [Ricardo \(1996\)](#) e [Ohlin \(1967\)](#) têm como premissa a livre mobilidade dos fatores, tanto entre setores da própria economia como entre as nações.

O modelo ricardiano pressupõe a possibilidade de exportação do bem no qual se tem vantagem comparativa ou o rearranjo internacional dos fatores produtivos. A integração econômica levaria a um equilíbrio comercial, que pode ocorrer com a comercialização do produto ou dos meios de produção, sem ressalvas de qualquer tipo. Ou seja, todos os fatores poderiam ser exportados e assim promoveria o rearranjo internacional. O mesmo ocorre com a mão de obra que, motivada pela diferença salarial, migraria da nação com menores salários para a de maior, sem considerar nenhum custo ou resistência. Já no modelo de Heckscher e Ohlin a migração pode acontecer, mas há menos pressão para esse processo, pois a equalização de salários ocorreria pelo rearranjo dos fatores de produção e da relação capital-trabalho ([KRUGMAN, 1999b](#)).

Frente à possibilidade de livre comércio, com suas diferenças produtivas, as nações tenderiam a um equilíbrio comercial ponderado pelos preços, tendo a mobilidade dos fatores de produção pouca relevância ([KOPP, 1994](#)).

“Os movimentos de mercadorias são, pelo menos até certo ponto, um substituto para os movimentos de fatores. A ausência de impedimentos comerciais implica uma equalização dos preços das commodities e, mesmo quando os fatores estão imóveis, há uma tendência à equalização dos preços dos fatores. É igualmente verdade que a mobilidade perfeita dos fatores resulta na equalização dos preços dos fatores e, mesmo quando os movimentos das mercadorias não podem ocorrer, em uma tendência à equalização dos preços das mercadorias.”² ([MUNDALL, 1957](#), p. 321)

Portanto, há modelos e autores que avaliam a possibilidade de não haver flexibilidade na alocação de determinados fatores entre os setores produtivos da economia, ou ao menos que exista uma certa rigidez e custos de realocação. Assim como também há limites à exportação de determinados fatores de produção. O fator mão de obra, por exemplo, não pode ser exportado, mas pode fluir de uma nação para outra em processos migratórios, o que é um processo muito mais lento e custoso. Essas características, cerne do objeto de análise desse trabalho, são abordadas na próxima seção.

² Tradução nossa

2.1.1 Rigidez dos fatores

Enquanto o fluxo de capitais, sobretudo financeiro, cresceu exponencialmente com a globalização e o desenvolvimento das tecnologias de comunicação, outros recursos e fatores de produção remanescem menos flexíveis. A integração econômica ocorre promovendo o ajuste por meio dos elementos mais flexíveis, aqueles que podem ser mobilizados e realocados mais facilmente ou, como sintetizou [Iversen \(1935, p. 713\)](#), o “aumento nos impedimentos ao comércio estimula os movimentos dos fatores e um aumento nas restrições aos movimentos dos fatores estimula o comércio”³.

Portanto, há estímulo ao crescimento do fluxo comercial entre nações para os produtos cujos meios de produção não podem ser transacionados ou realocados entre elas. [Polanyi \(2000, p. 216\)](#) afirma que “embora o solo não possa ser mobilizado fisicamente, a sua produção pode, se os meios de transporte e a lei permitem.”

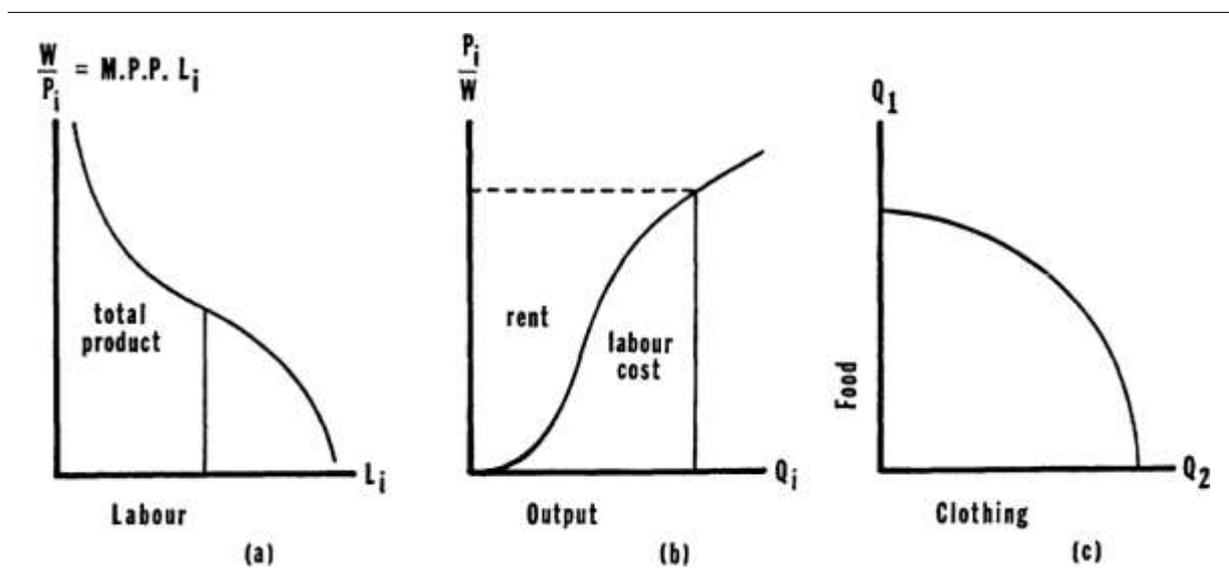
O autor recupera um ponto relevante que destoa dos demais autores, é preciso haver possibilidade técnica e permissão legal para que haja comércio internacional. Os demais autores citados nesse referencial teórico tomam como premissa que se pode comercializar e focam seus esforços no entendimento das questões técnicas. Mesmos os institucionalistas, citados no próximo tópico, tomam como premissa a liberdade de comercializar, sendo a legislação uma instituição formal que visa facilitar o comércio, podendo ser eventualmente um entrave.

Este trabalho não ignora nem considera menor as questões políticas, o protecionismo, as características do bem agrícola como insumo e alimento, ou a cartelização do mercado mundial de alguns bens. No entanto, adota outro enfoque. Separar os determinantes do comércio - técnicos e políticos -, é necessário para o melhor entendimento de ambos. Do contrário, corre-se o risco de tomar um pelo outro nas análises, incorrendo em erro.

As abordagens baseadas nas ideias de Bertil Ohlin, que incluem a rigidez de ao menos um fator de produção, foram expandidas por [Samuelson \(1971\)](#) e [Jones \(1971\)](#), e posteriormente sintetizadas e denominadas como modelo de fatores específicos. O modelo recebe este nome pois, além dos fatores de produção perfeitamente móveis, há no processo produtivo ao menos um fator de produção que não pode ser realocado entre os setores da economia. Esses são denominados fatores específicos, já que são dedicados unicamente a um setor.

A existência de fatores específicos gera diversas implicações à equalização

Figura 1 – Para uma indústria típica têxtil e de alimentos, (a) demonstra o rendimento marginal do trabalho, (b) o custo marginal e (c) a fronteira de produção côncava



Fonte: (SAMUELSON, 1971, p. 368)

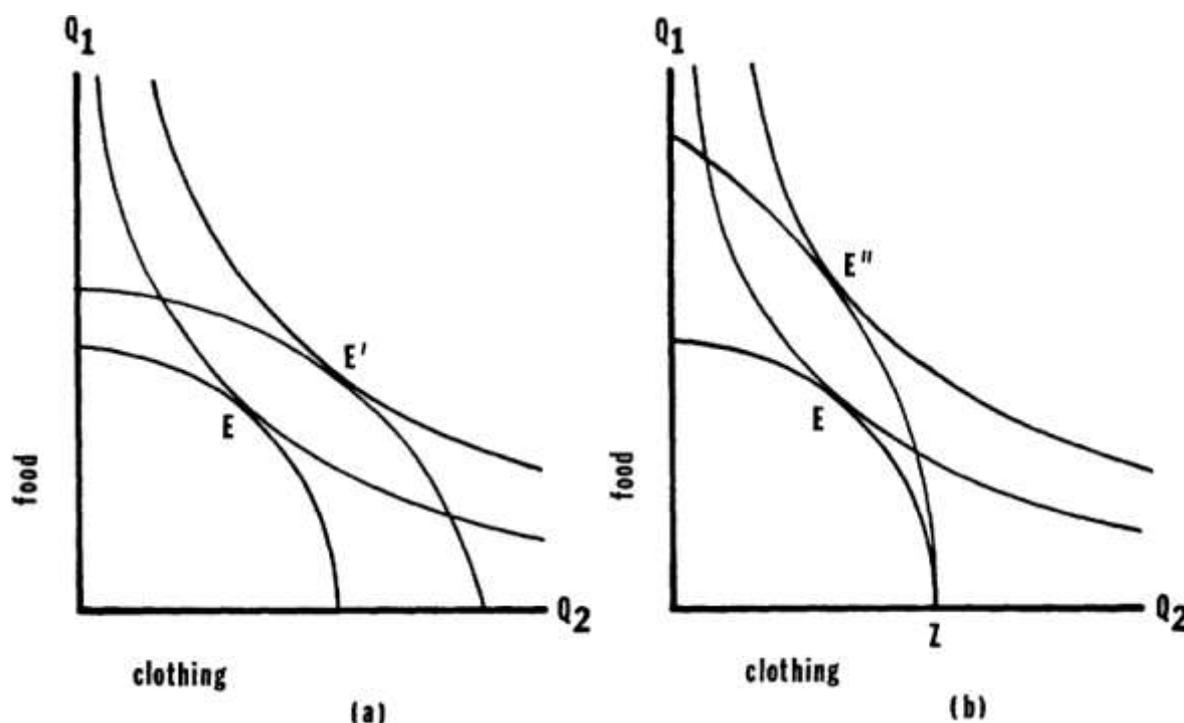
dos retornos das atividades. Uma implicação fundamental é a imposição de retornos marginais decrescentes à produtividade do fator móvel. Esse fato gera uma fronteira de possibilidade de produção côncava em relação à origem, como ilustrado por Samuelson (1971) na Figura 1.

A Figura 1 (a) ilustra o produto marginal do trabalho, (b) ilustra o custo marginal e (c) a fronteira de produção côncava em relação à origem. Dada essa característica da fronteira de possibilidade de produção, a economia de um país não tende a uma especialização em termos absolutos como nos modelos ricardianos, mas a um equilíbrio no qual se produz ambos os bens em proporção ao rendimento dos fatores.

Esse equilíbrio ocorre pois a ampliação do uso dos fatores flexíveis no setor têxtil acontece com rendimentos marginais decrescentes, ao mesmo tempo em que a remoção desses fatores no setor de alimentos amplia o rendimento marginal, mantendo o mesmo exemplo utilizado por Samuelson. Assim, dado o nível de preço dos produtos, os agentes econômicos realocarão seus recursos flexíveis no setor mais rentável. A realocação ocorrerá igualando o retorno obtido em ambos os setores. A Figura 2 ilustra o equilíbrio e mudanças na disponibilidade dos fatores. O nível de preços é definido pelas preferências dos consumidores - ou seja, pela demanda.

A Figura 2 (a) ilustra a dilatação da fronteira de possibilidade de produção para todos os bens, dado um aumento da disponibilidade de fatores flexíveis, que podem

Figura 2 – Para uma indústria típica têxtil e de alimentos, (a) ilustra um aumento na disponibilidade de fatores flexíveis e (b) ilustra um aumento na disponibilidade de fatores específicos do setor de alimentos



Fonte: (SAMUELSON, 1971, p. 370)

ser utilizados em ambos os setores exemplificados. O crescimento desigual é fruto da produtividade dos demais fatores e da tecnologia existente. A Figura 2 (b) ilustra o aumento de disponibilidade de um fator específico. No exemplo é utilizado no setor de alimentos, que promove um crescimento enviesado da fronteira de possibilidade de produção, aumentando o processo apenas no setor que utiliza do fator específico. As curvas negativamente inclinadas representam a demanda.

Havendo disparidade de recursos entre duas nações que não comercializam entre si, o equilíbrio em cada uma se dará como na Figura 2 (a), o volume dos diferentes bens produzidos será definido pela preferência dos consumidores - demanda, que determina os preços relativos, sendo mais barato o produto cujos meios de produção são mais abundantes.

Havendo integração econômica entre duas regiões com dotação díspar de fatores haverá convergência de preços, visto que cada uma exportaria o que produz mais barato e importaria o que lhe é mais caro. Cada uma rearranjará seu sistema produtivo realocando os meios de produção flexíveis. A demanda que determina o preço em ambas as nações passa a ser a demanda internacional, ou o somatório das

demandas locais. “Ambas as regiões ficarão melhores com preços de commodities equalizados”⁴ (SAMUELSON, 1971, p. 372)

Ambas passarão a produzir mais no setor que detém mais dotação de fatores, tendendo a um equilíbrio, como apontado por Ohlin (1967). No entanto, isso acontecerá com especialização parcial, pois não deixará de produzir os bens nos quais os fatores de produção são relativamente escassos, mas os produzirá em menor proporção.

Em uma análise distinta, Polanyi (2000, p. 162) chega à conclusão semelhante e afirma que “o capital investido nas várias combinações de trabalho e terra podiam fluir, assim, de um ramo de produção para outro, conforme exigido pelo nivelamento automático dos vencimentos nos vários ramos”.

Contudo, esse equilíbrio comercial por meio dos preços pode não ocorrer de forma plena. “A mobilidade de bens não tem sido capaz de servir como um substituto completo para a mobilidade de fatores na equalização de todos os preços dos fatores.” (SAMUELSON, 1971, p. 373). Ao se adotar a premissa de que o trabalho interage com todos os demais fatores de produção, como fez Viner (1965)⁵, exclui-se o fato de que os fatores precisam interagir entre si no processo produtivo e que, portanto, o ajuste não se dará de forma ótima apenas por meio da relação comercial. Neste caso, remanesce a tendência à realocação internacional dos fatores mais flexíveis em prol dos específicos.

Mussa (1974, p. 1192) inclui o horizonte temporal em sua crítica às simplificações teóricas dos modelos ricardianos derivados das ideias de Ohlin e afirma que “o que a teoria negligencia é que, no curto prazo, pelo menos, os fatores tendem a ser específicos para usos particulares”. Outra simplificação teórica, questionada pelo autor, é a instantaneidade e ausência de custos na transferência e realocação dos recursos. Frente a custos de realocação haveria sempre um equilíbrio parcial, visto que a disparidade de renda entre os setores teria que ser maior que os custos de realocação.

Esta análise marginalista é denominada por Mussa (1974), como sendo um realinhamento “marshalliano” dos modelos, em especial o de Paul Samuelson, citado anteriormente. Assim, o autor recupera a importância do horizonte temporal no ajuste, sem divergir das conclusões de Samuelson para o longo prazo, e afirma que no curto prazo há ainda mais rigidez dos fatores.

Mussa (1974) adota três tipos de fator de produção: o flexível, que pode ser

⁴ Tradução nossa

⁵ Premissa denominada posteriormente como ‘Tecnologia Ricardo-Viner’

ajustado entre setores com facilidade, baixo custo e de forma rápida - curto prazo; os fatores fixos, que não podem ser readequados e realocados, independentemente do custo ou do horizonte temporal; e insere o conceito de “fator quase-fixo”, que poderia ser readequado entre setores a custos mais elevados em um maior horizonte temporal - longo prazo.

Portanto, percebe-se que a capacidade de ajuste dos fatores é imperfeita por diversos fatores: adaptabilidade, custos de adaptação e tempo necessário para readaptação e realocação. Junta-se a esse debate as características edafoclimáticas para a produção de gêneros agrícolas. A respeito da terra, que é um dos fatores que compõem a condição edafoclimática, se reconhece sua rigidez nos trabalhos de [Samuelson \(1971\)](#). Ao exemplificar suas ideias de fatores específicos, o autor já utiliza a especificidade da terra, trabalhando a disponibilidade do fator de forma distinta para cada tipo de produto “*food-land*”, para o setor de alimentos, e “*clothing-land*”, para o setor têxtil. A terra não é a área e não é um fator intercambiável entre lavouras sem que se observe restrições. Ou seja, o fator terra utilizado por um setor não é o mesmo utilizado no outro. E [Krugman \(1999a, p. 44\)](#) faz a ressalva de que “a terra também pode ser pensada como um tipo diferente de capital”.

A busca pelo melhor ajuste dos fatores de produção se dá por aqueles que podem ser mobilizados em prol daqueles que não podem ser mobilizados, sendo a exportação de produto uma alternativa quando não se pode equalizar os fatores de produção, criando, assim, uma integração internacional em diversos âmbitos do sistema produtivo, como afirmou Horst Siebert:

“A competição local pode ocorrer por meio de vários mecanismos, todos os quais têm em comum o fato de criarem interdependências entre os países, seja por meio da mobilidade do capital real e do novo conhecimento técnico (*Know-how*), seja por meio da troca de bens, seja por meio da emigração (imigração) de mão-de-obra, ou seja por puro efeito de demonstração.”⁶ ([SIEBERT, 2000, p. 04](#))

Nesse sentido, [Kopp \(1994, p. 01\)](#) afirma que “uma hipótese central da competição locacional é que países ou regiões, ou melhor, seus fatores imóveis competem por fatores internacionalmente móveis.”⁷. O autor coloca assim a vantagem comparativa e, conseqüentemente a alocação internacional das atividades produtivas, não apenas em função da tecnologia ou da produtividade do trabalho, mas da disponibilidade de fatores de produção que não podem ser realocados.

⁶ Tradução nossa

Um fator ou um conjunto de fatores associados relevantes ao processo produtivo de bens agrícolas são as condições edafoclimáticas necessárias para dado

cultivar. Esse conceito é fixo, determinado pela natureza, e se estende independentemente de fronteira nacionais e não pode ser realocado. O conceito e definições das características edafoclimáticas são explanados na seção seguinte.

2.1.1.1 Condições edafoclimáticas

Um último conceito relevante a ser abordado nesse tópico não diz respeito a questões econômicas, mas a características técnicas do processo produtivo que precisam ser consideradas em uma análise econômica dos fluxos comerciais dos produtos oriundos desses processos. O conceito relevante é “condições edafoclimáticas”.

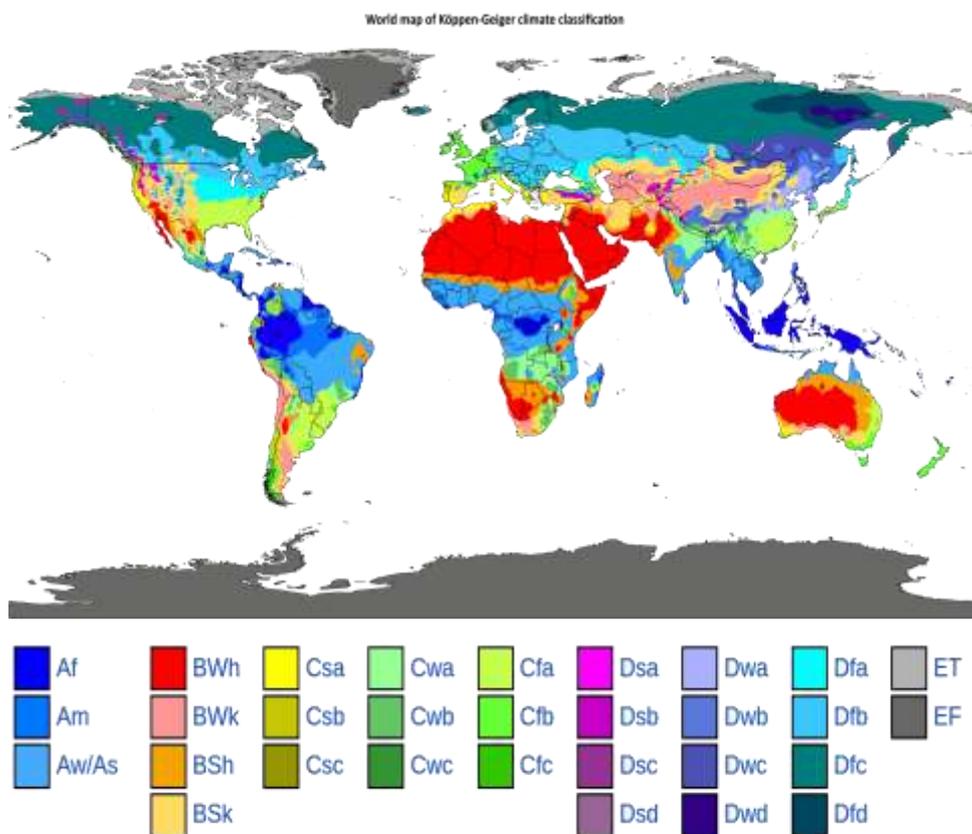
Alguns autores, como [Borges e Souza \(2006\)](#), se referem a essas características como “exigências edafoclimáticas”, o que reforça a argumentação de que são esses elementos pré-condição indissociável do processo produtivo.

Condições ou exigências edafoclimáticas é o termo que se refere ao conjunto das características de solo e clima necessárias para o desenvolvimento de um cultivar. Entre as características de clima, pode-se citar: temperatura, precipitação, ventos e luminosidade. Quanto ao solo, pode-se citar as características físico-químicas, como compactação, drenagem, acidez e profundidade (inexistência de impedimentos mecânicos ao desenvolvimento de raízes profundas). E há propriedades que se manifestam no conjunto solo-clima, como a altitude, por exemplo. ([HOFFMANN; NACHTIGALL, 2004](#))

Culturas agrícolas se desenvolvem em combinações de características edafoclimáticas, e essas propriedades devem ser entendidas enquanto fatores de produção fixos ou, ao menos, semi fixos, pois não podem ser reproduzidos, ou quando podem impõem custos elevados de adaptação e redução de produtividade, como afirma [Herter et al. \(2014, p. 45\)](#): “a escolha de local impróprio é um erro sério, que geralmente não pode ser corrigido sem grandes perdas. A instalação requer um cuidadoso exame das condições ambientais, entre as quais, o clima, o solo e sua topografia são fatores determinantes”.

Em função da importância histórica da produção de alimentos e da participação da atividade agrícola e extrativista na economia das diferentes sociedades, vários mapeamentos dessas características foram elaborados. Um exemplo é a classificação climática de Köppen-Geiger, proposta em 1900, e que vem sendo atualizada e pormenorizada desde então. A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalente ([HESS; TASA, 2016](#)). Uma ilustração desta classificação é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Classificação climática de Köppen-Geiger, por países. Legenda descritiva no Apêndice A



Fonte: (PEEL et al., 2007)

O pressuposto de que a região climática deve ser definida em função e em conjunto com o bioma reforça a simbiose entre esses elementos. A classificação de Köppen-Geiger é utilizada, por exemplo, por autores como (CARDOSO et al., 2014), que a empregam para mapear as regiões brasileiras com o objetivo de prover informação para diferentes sistemas produtivos.

O desenvolvimento de instrumentos de gestão de risco é relevante e, por isso, no Brasil, por meio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ligada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), criou-se em 1996 o método de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que:

“proporciona a indicação de datas ou períodos de plantio/semearura por cultura e por município, considerando as características do clima, o tipo de solo e ciclo de cultivares, de forma a evitar que adversida-

des climáticas coincidam com as fases mais sensíveis das culturas, minimizando as perdas agrícolas. A tecnologia constitui-se, portanto, em uma ferramenta crucial para o apoio à tomada de decisão para o planejamento e a execução de atividades agrícolas, para políticas públicas e, notadamente, à segurança agrícola.” (EMBRAPA, 2020)

O documento recebe revisão anual e é publicado na forma de portarias, no Diário Oficial da União e no site do MAPA. Atualmente, “os estudos de zoneamentos agrícolas de risco climático já contemplam 40 culturas, sendo 15 de ciclo anual e 24 permanentes, além do zoneamento para o consórcio de milho com braquiária, alcançando 24 Unidades da Federação” (EMBRAPA, 2020).

O documento informa em quais regiões, por município, e quais as janelas de plantio e colheita são possíveis de se produzir de forma economicamente viável cada cultivar. É, portanto, um mapeamento de toda área específica possível de ser utilizada na produção de dado cultivar, análogo ao máximo volume de recurso específico existente. Tão grande é a relevância de sua especificidade que é compulsório satisfazer as condições apontadas no ZARC para ter acesso aos sistemas de financiamento de atividade agrícola fornecidos pelo Estado brasileiro.

Para utilizar os programas de financiamento ou securitização de atividades agrícolas como, por exemplo, o Proagro e a subvenção federal ao prêmio do seguro rural, o produtor deve observar as recomendações desse pacote tecnológico. O Proagro “é um programa do governo federal que garante o pagamento de financiamentos rurais de custeio agrícola quando a lavoura amparada tiver sua receita reduzida por causa de eventos climáticos ou pragas e doenças sem controle.” (BACEN, 2020)

O ZARC é simultaneamente uma fonte de informação em relação a quanto de área específica o Brasil tem para cada cultura relevante nele mapeado e uma amostra da importância dessas características no processo produtivo agrícola.

“A tecnologia de produção tem avançado muito no sentido de permitir que as condições edafoclimáticas desfavoráveis, até certo limite, sejam total ou parcialmente superadas. Há que se considerar, entretanto, que, quanto mais distantes estiverem as condições de clima e solo daquilo que é ideal para cada cultivar, maiores serão as dificuldades para a produção de frutas de qualidade e para a viabilização técnica e econômica” (HOFFMANN; NACHTIGALL, 2004, p. 25)

Dado o entendimento de que fatores rígidos ou semi-rígidos existem e impõem características específicas a seus processos produtivos, sobretudo locais, faz-se necessário analisar como essas propriedades influenciam na conformação dos grupos de nações exportadoras de gêneros agrícolas.

2.2 O modelo gravitacional na análise regional

Regiões são localidades que não possuem tamanho pré-definido. Se há transações e trocas entre nações, também há transações e trocas entre diferentes localidades e regiões de uma mesma nação.

Baseando-se nas ideias de Teoria dos Lugares Centrais de Walter Christaller (1966), tem-se o primeiro trabalho a explicitar o modelo gravitacional para análise regional publicado por Isard (1960), em seu décimo primeiro capítulo escrito pelo mesmo em coautoria com David Bramhall. Os autores abordam a sociedade enquanto 'uma intrincada matriz de conexões entre unidades' que pode ser abordada por uma relação de entradas e saídas por meio da programação linear.

O elemento mais relevante dessa abordagem é que as unidades não são observadas, mas sim o comportamento do conjunto das unidades, pois princípios gerais governam as unidades assim como o conjunto. Para explicar essa abordagem, os autores fazem uma analogia a outro trabalho da física - a investigação de Robert Boyle (1627 - 1691) sobre o efeito da temperatura e pressão sobre o volume dos gases, "uma investigação essencialmente sobre o comportamento das massas de moléculas; o movimento de nenhuma molécula individual foi relevante na pesquisa"⁸ (ISARD, 1960, p. 494).

Essa perspectiva analítica se relaciona com outras questões já descritas anteriormente sobre a aplicação para o comércio internacional, na qual o modelo gravitacional é elaborado e aplicado aquém de um escopo teórico que o sustente, e que decorrente de sua confiança estatística para identificação do comportamento médio é utilizado, posteriormente, para verificar se dado elemento teórico é observado empiricamente.

A ciência regional, em 1960, antes mesmo da economia internacional, em 1962, utilizou desta abordagem e do modelo gravitacional para analisar as interrelações entre estados ou províncias de um mesmo país, as interrelações entre municípios e as interrelações entre regiões - regiões essas definidas em suas mais diversas formas. Podendo, como é mostrado mais adiante nesta seção, ser utilizado para delimitar regiões e localidades a partir de suas atividades econômicas.

E este é um fato relevante: a definição de localidade se dá por um elemento que identifique todos os pontos de um espaço como pertencente àquela região. No entanto, outras características que também poderiam ser utilizadas para definir uma localidade não é, nem há motivo para esperar que seja, coincidente com a primeira. Em última análise, localidades definidas política e militarmente pela extensão de imposição do ordenamento jurídico constituem o território de uma nação. Esse território, por sua

vez, pode ser subdividido de diversas formas, utilizando de diversas características diferentes de identificação, as mais comuns são as divisões administrativas. Contudo, outras formas de definir as localidades são possíveis dentro de um território nacional, incluindo ainda formas de definição de localidades que perpassam as fronteiras nacionais, como, por exemplo, um bioma ou o uso de um idioma, abordando características naturais e humanas, respectivamente. Como definem [Oliveira e Ferrera de Lima \(2021\)](#):

“Uma região envolve culturas, economia, formas diferentes de discurso, de agir, um conjunto social formando assim uma territorialidade. Logo, o território também é uma paisagem, um espaço físico natural que possui identidades socioculturais. ([OLIVEIRA; FERRERA DE LIMA, 2021](#), p. 132)

Diferente da economia internacional, que tem como princípio da análise as unidades nacionais, a economia regional parte de uma análise probabilística, na qual adota-se, a princípio, a homogeneidade do espaço e da distribuição das unidades sob análise. Assim [Isard \(1960\)](#) deriva sua equação do modelo gravitacional, pressupondo que as pessoas e a atividade sob análise têm distribuição homogênea em uma cidade, que qualquer sub-região terá participação na atividade analisada proporcional ao seu tamanho em relação ao todo. O autor se refere a essa abordagem como análise potencial.

O potencial é proporcional à magnitude da sub-região em relação à região toda. Logo, se uma sub-região i contém 10% dos habitantes, admite-se que, por exemplo, 10% dos deslocamentos intrarregionais se iniciará nesta região i . Os deslocamentos iniciados em i , por sua vez, tenderão a ter como destino todas as demais regiões em proporção de suas magnitudes. Quanto maior for uma outra sub-região, por exemplo j , proporcionalmente mais deslocamentos j deve receber da sub-região i . Assim, tem-se que qualquer atividade observada entre duas sub-regiões, considerando o pressuposto de homogeneidade, será proporcional ao produto do tamanho dessas sub-regiões.

Conhecendo a proporção, para chegar ao valor estimado de deslocamentos entre i e j , é preciso multiplicar essa proporção pelo valor médio total, ou seja, o quantitativo total de deslocamentos realizados entre as sub-regiões dividido pela magnitude de toda a região, chegando a constante que o autor identifica como k . Assim, tem-se a equação 2.1, que estima o total de deslocamentos entre as sub-regiões i e j enquanto proporção do produto das magnitudes relativas das sub-regiões em relação à região,

multiplicado pelo valor médio k de deslocamentos realizados na região.

Onde:

$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{P} \quad (2.1)$$

T_{ij} é o número total de deslocamentos entre as sub-regiões i e j ;

k é a constante que reflete a proporção entre o número total de deslocamentos na região e a magnitude da região;

$P_i P_j$ é o produto das proporções da magnitude das sub-regiões i e

j ; P é a magnitude da região.

Embora a estética da construção matemática lembre a equação de Newton (2.6), esta não é a proposição do modelo gravitacional de Isard (1960), mas sua base para ilustrar a importância da magnitude na distribuição das atividades, ou seja, para ilustrar a analogia com a massa na equação newtoniana. Para a segunda parte desta analogia, a distância entre os corpos, Isard (1960) demonstra que, partindo de uma base de dados, há diferença entre os valores estimados com a equação 2.1 e os valores observados, para explicar esta diferença o autor utiliza a distância entre as sub-regiões.

$$\log \frac{I_{ij}}{T_{ij}} = a - b \log d_{ij} \quad (2.2)$$

Onde:

$\frac{I_{ij}}{T_{ij}}$ é a razão entre o valor observado e estimado;

a é a constante de intercepto;

d_{ij} é a distância entre as sub-regiões i e j ;

b é o parâmetro estimado de influência da distância sobre a razão entre o valor observado e estimado.

Ao aplicar o antilog a equação 2.2 e substituir T_{ij} pelos valores encontrados na equação 2.1 tem-se:

$$I_{ij} = G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (2.3)$$

Onde:

I_{ij} é o valor observado de deslocamentos entre i e j ;

G é a razão ck/P , onde c é o antilog de a , k é a proporção da sub-região em relação ao todo e P é a magnitude da região;

d_{ij}^b é a distância entre as sub-regiões i e j .

Isard (1960) formaliza que a frequência observada de uma atividade entre duas sub-regiões é proporcional à magnitude de dessas sub-regiões em relação ao

todo da região, e inversamente proporcional à distância entre as sub-regiões. Assim, estabelece a analogia entre sua análise e a equação newtoniana, dicotômica, na qual há elementos proporcionais e inversamente proporcionais.

Uma outra forma útil, derivada da equação 2.2, permite a análise não do conjunto par-a-par⁹, mas sim de uma unidade, ou sub-região, de interesse em relação às demais. Esta análise pode ser dada pelo simples somatório da interação da unidade de interesse i com todas as demais, que é igual ao somatório do produto das características de i em relação às demais sub-regiões, como se pode observar na Equação 2.4.

$$I_{i1} + I_{i2} + I_{i3} + I_{in} = G \frac{P_i P_1}{D_{i1}} + G \frac{P_i P_2}{D_{i2}} + G \frac{P_i P_3}{D_{i3}} + G \frac{P_i P_n}{D_{in}} \quad (2.4)$$

A equação 2.4 pode ser reescrita como mostrado na equação 2.5:

$$\sum_{i=1}^n I_{ij} = G \sum_{i=1}^n \frac{P_i P_j}{D_{ij}} \quad (2.5)$$

Onde: I_{i1} é o valor da relação entre a sub-região i e 1, no exemplo número de viagens;

G é a média da proporção da relação entre as duas sub-regiões e o todo;

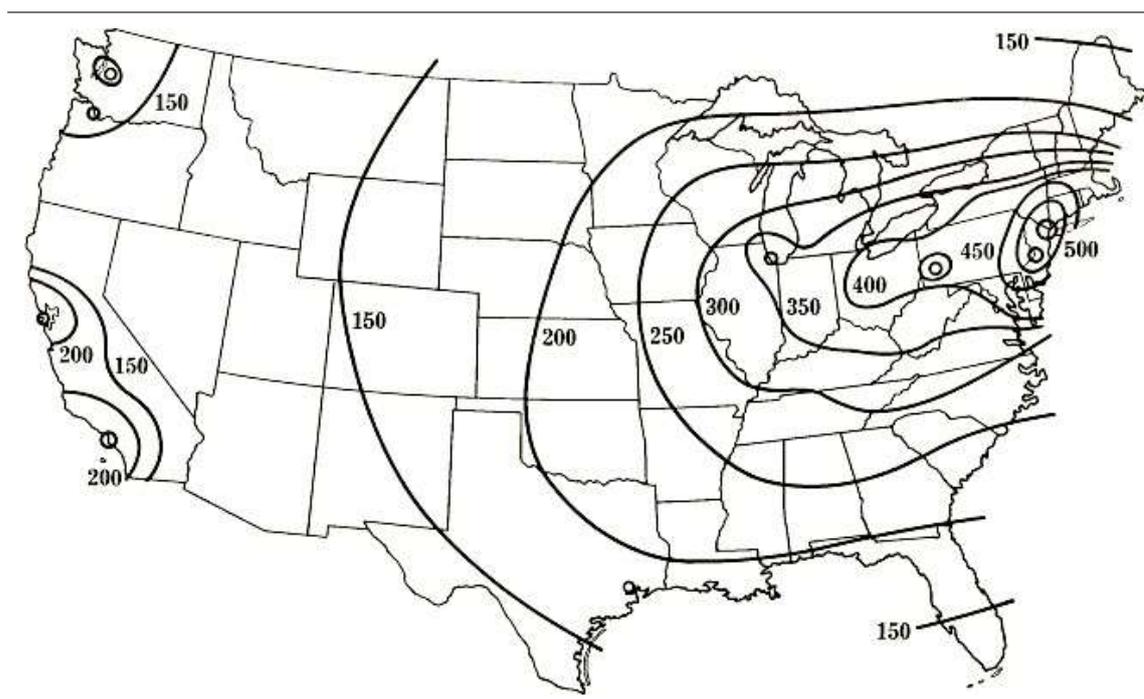
$P_i P_j / D_{ij}$ é o produto da magnitude das sub-regiões ponderado pela distância entre elas.

Ao adotar como pressuposto a homogeneidade de todas as características entre as sub-regiões, Isard (1960) desconsiderou que outros fatores possam agir de forma positiva e ampliar a frequência de atividades observadas entre duas sub-regiões. Da mesma forma, ao explicar a diferença entre o valor estimado e observado utilizando como única variável explicativa a distância, desconsiderou outros fatores que possam agir de forma negativa sobre essa relação. Todas essas questões foram intencionalmente deixadas de lado pelo autor para compor a base do modelo gravitacional, enunciando como pressuposto a homogeneidade de preferências, idade, renda, ocupação laboral, distribuição populacional e também ausência de outras fricções.

Duas características dessa abordagem são relevantes para este trabalho: a perspectiva de análise, ou seja, o modelo gravitacional pode ser estimado considerando simultaneamente as relações comerciais entre as regiões, par a par, como preconizado por Tinbergen (1962) e descrito anteriormente, ou analisando as relações comerciais entre uma região e diversas outras, como mostrado na equação 2.5; a segunda característica relevante é o pressuposto de homogeneidade do território, tal como Losch (1954) e Christaller (1966) ao

analisarem a distribuição espacial das atividades econômicas na teoria do lugar central. [Isard \(1960\)](#) ignora, *a priori*, as fronteiras estaduais, ou seja, fronteiras administrativas e legais dos governos estaduais, como demonstrado na Figura 4 para os Estados Unidos da América, utilizando-se dos resultados de sua análise com o modelo gravitacional para demarcar o espaço com base nas atividades econômicas.

Figura 4 – Mercado potencial ponderado pela população



Fonte: [Isard \(1960, p. 502\)](#)

Essa característica de analisar o território por definições que não os limites de Estado ou regiões administrativas irá compor a argumentação central desta tese, visto que a capacidade de produção de qualquer cultivar é independente de fronteiras demarcadas pelo homem.

Quanto à questão das métricas a serem utilizadas, [Isard \(1960\)](#) é muito mais didático e resume o problema em duas questões. Primeiramente, se deve utilizar os dados e meios disponíveis, não sendo crítico aos trabalhos quando não há possibilidade de obter os dados como se julga ideal.

Em segundo lugar, faz um debate sobre a abordagem da ‘física social’, ou como interpretar o comportamento humano a partir de seus agregados buscando leis naturais para o comportamento individual enquanto média do comportamento agregado. Nessa argumentação, [Isard \(1960, p. 505\)](#) afirma que, na analogia, a massa no modelo não tem um padrão, mas é dependente do objeto de estudo. O volume populacional de uma região pode ser utilizado como massa, “mas para questões como migração entre

regiões metropolitanas o emprego ou a renda tende a ser mais significativo”¹⁰.

Ou seja, não há motivos para uma padronização no uso das variáveis se não em função do objeto estudado. As variáveis devem representar as características que influenciam, das diversas formas possíveis, na realização ou não do comércio entre duas localidades. Diferentes objetos de estudo não devem, portanto, se ater às mesmas variáveis, ampliando o risco de incorrer em má especificação do modelo.

Sobre as possíveis formas de mensurar distância, diferente de [Linnemann \(1966\)](#), [Isard \(1960, p. 506\)](#) não a vê como um vetor que agregue diversos elementos que dificultem as transações, mas questiona se e quando a forma de mensuração linear ponto a ponto é relevante. “No entanto, se um estudo de tráfego metropolitano está sendo realizado, a distância em termos de tempo de viagem é pelo menos igualmente importante”. Mais uma vez, o autor põe a variável a ser utilizada como função do objeto em análise.

2.3 Da proposição do modelo gravitacional para o comércio internacional

O modelo gravitacional para o comércio internacional foi proposto inicialmente por Jan Tinbergen, economista holandês laureado em 1969, em seu livro “*Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economy Policy*”. A apresentação, aparentemente despreziosa, ficou relegada ao VI apêndice do livro, como uma sugestão de modelo de análise descrita ainda em desenvolvimento.

A proposição se fazia com a finalidade de entender os determinantes das exportações dos países em desenvolvimento que, segundo o autor, tinham problemas causados pelas tarifas alfandegárias, desequilíbrios em sua balança de pagamentos, e instabilidade cambial e de receita de exportações.

O modelo, sem notas de aviso sobre ainda estar em desenvolvimento, é publicado em 1969 por Hans Linnemann, orientado de Tinbergen no trabalho intitulado “*An Econometric Study of International Trade Flows*”. Neste trabalho, Hans Linnemann formaliza sua versão da equação gravitacional para o comércio exterior e deixa claro seu objetivo, ao afirmar que: “as vantagens comparativas não são uma variável autônoma ou exógena, mas um fator endógeno. Elas dificilmente contribuem, portanto, para uma compreensão do tamanho dos fluxos de comércio ou a magnitude potencial da oferta estrangeira.”¹¹ Ou seja, [Linnemann \(1966\)](#) se preocupava com a mensuração dos fluxos realizados e potenciais, não apenas com a capacidade explicativa dos modelos teóricos clássicos que, sem permitir estimar valores, não eram úteis à proposição de

políticas comerciais, como as que seu orientador - Hans Tinbergen - havia publicado anos antes.

Antes de expor as equações iniciais de Tinbergen (1962) e Linnemann (1966), é preciso retornar ao ano de 1687 para entender o surgimento das ideias utilizadas para compor o modelo gravitacional para o comércio internacional, cuja origem é o modelo de gravitação universal de Isaac Newton (2018).

A equação 2.6 é o produto do modelo de gravitação universal e descreve a força da gravidade como resultante de dois vetores antagônicos, diretamente proporcional à massa de dois corpos, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

$$F = G \frac{(M_1 M_2)}{D^2} \quad (2.6)$$

Onde: F é a força gravitacional;

G é a constante gravitacional;

M_1 e M_2 são as massas dos respectivos corpos;

D^2 é o quadrado da distância.

Este foi o melhor modelo para explicar a gravidade por 243 anos até Albert Einstein tornar tudo mais complicado, em 1915.

Dois pontos são destacados aqui. Primeiro, a existência de dois vetores antagônicos, um diretamente proporcional - produto da massa dos corpos - e outro inversamente proporcional - quadrado da distância. Essa abordagem abre espaço. Pode-se dizer que é essa estrutura dicotômica, de forças antagônicas, que os economistas utilizam para elaborar as suas equações para o comércio internacional e também para o volume de trocas intrarregionais. Todas as variáveis e características que têm relação positiva com a variável explicada tornam-se análogas à massa dos corpos, ampliando o poder de atração quanto maior se tornam. Todas as variáveis e características que têm relação negativa com a variável explicada tornam-se análogas ao quadrado da distância, pois este tem relação inversa com a força de atração.

Nas diversas equações para aplicação do modelo gravitacional pelas ciências econômicas, nas quais o conjunto de elementos elencados na teoria favorecem ou ampliam a variável explicativa volume de comércio, esse conjunto é análogo à massa dos corpos, enquanto os elementos que desfavorecem a variável explicativa são análogos ao quadrado da distância.

O segundo ponto é o uso da distância, elemento que é controverso e polêmico desde o modelo newtoniano, sobre o qual Robert Hook alegou que Isaac Newton lhe roubara a ideia (CREASE, 2006). Nas análises econômicas, como se mostrará adiante,

a distância também é elemento de crítica e controvérsia. A primeira abordagem para a distância, utilizada na equação 2.8, foi a distância entre os principais centros comerciais dos países, medida em milhas náuticas.

Antes ainda de apresentar a equação 2.8 de Tinbergen, é apresentada a equação 2.7 de Bergeijk (2010), que é posterior, mas traz uma semelhança estética maior com a equação de Newton (2018), facilitando assim o entendimento da transição dessas ideias da física para a economia.

$$T_{ij} = \frac{GDP_i^\alpha GDP_j^\beta}{D_{ij}^\theta} \quad (2.7)$$

T_{ij} é o volume negociado entre as nações i e j ;

GDP_i^α é o Produto Interno Bruto - PIB (do inglês Gross Domestic Product) do país exportador;

GDP_j^β é o Produto Interno Bruto - PIB (do inglês Gross Domestic Product) do país importador;

D^θ é a Distância entre as nações.

A equação 2.7 ignora a constante gravitacional ou assume uma analogia no intercepto na equação de regressão.

A equação possui uma semelhança maior com a equação gravitacional newtoniana. Pode-se entender assim que o volume negociado entre as nações será diretamente proporcional ao PIB das nações, vetor que ocupa o numerador da fração, logo maior será o resultado dessa fração quanto maior seu numerador; e menor será o volume negociado entre as nações quanto maior for a distância entre elas, pois, quanto maior o denominador, menor será a resultante da fração.

Os expoentes, α , β e θ , descrevem a magnitude e a direção da relação a qual sobreescreve com a variável explicada, neste caso, o volume negociado entre as nações. Espera-se que o PIB de cada nação interfira em magnitude diferente no volume negociado, no entanto, que ambos sejam positivos e que a distância seja *proxy* dos custos de transação e, portanto, tenha uma relação negativa com o volume transacionado.

Admite-se que o PIB de importadores e exportadores tenham magnitudes diferentes, visto que representam forças distintas do mercado. Ou seja, o exportador representa a oferta, e o importador a demanda. Logo mais será mostrado que, na evolução do modelo, o tamanho da população e o PIB *per capita* foram incluídos, representando melhor a demanda ou a capacidade de demanda - também chamada de demanda potencial.

Por fim, tem-se a equação 2.8, primeira versão do modelo gravitacional para o comércio internacional a ser publicada por Tinbergen (1962). Nela é possível perceber

pouca similitude, em relação à estética matemática, com a equação newtoniana. O que prevalece é a ideia de dois vetores antagônicos, sendo um proporcional e outro inversamente proporcional.

A organização dos elementos da equação de Hans Tinbergen é clássica de um economista, muito próxima a qualquer equação de regressão linear para parâmetros linearizáveis, assim como uma função de produção.

$$E_{ij} = a_0 Y_i^{a_1} Y_j^{a_2} D_{ij}^{a_3} \quad (2.8)$$

E_{ij} é o volume exportado pelo país i para o país j ;

Y_j é o PNB do país importador;

D_{ij} é a distância entre os países i e

j ; a_0 é a constante.

Tinbergen (1962) explica que os sobrescritos a_1 , a_2 e a_3 representam a magnitude da relação, mas que não há motivo para que haja proporcionalidade entre eles, e que o somatório, diferente de uma função de produção do tipo Cobb-Douglas, não é igual a um.

Para testar seu modelo, ainda em construção, o autor utilizou dados de 18 países, que afirmou serem estruturalmente semelhantes, e verificou todos os sobrescritos como estatisticamente significativos. Aplicando logaritmo natural, o autor chegou à equação 2.9.

$$\log E_{ij} = a_1 \log Y_i + a_2 \log Y_j + a_3 \log D_{ij} + \hat{a}_0 \quad (2.9)$$

Onde: $\hat{a}_0 = \log a_0$

Assim, tem-se uma equação linearizada, ou equação log-log, o que simplifica significativamente sua aplicação e interpretação. O modelo log-log apresentado é de secção transversal, portanto todas as unidades observadas têm seus valores no mesmo período temporal.

A aplicação do log leva a uma análise de elasticidade para o modelo, logo não se avalia o quanto o PIB em valor interfere no volume exportado também em valor, mas sim o quanto o aumento de 1% do PIB causa de alteração, também em percentual, no volume exportado. Em outras palavras, a é a magnitude em percentual que a variável explicativa causa na variável explicada.

Esta é a base do modelo gravitacional que, replicando o modelo newtoniano, se atém a três variáveis explicativas, fato que foge muito ao volume de elementos apontados pelos teóricos do comércio internacional. Para tanto, o autor propõe, nesse mesmo texto inicial de 1962, mais três equações, nas quais inclui outras variáveis que são aventadas nos modelos de comércio internacional e podem interferir no volume transacionado entre as nações.

Após apresentar a base do modelo com três variáveis - PIB da nação importadora, PIB da nação exportadora e a distância entre elas -, o autor apresenta a primeira variação, incluindo variáveis *dummy*. Essas variáveis categóricas representam nações que fazem fronteira terrestre ou os acordos comerciais existentes entre um subgrupo da amostra utilizada. O autor se refere a esta função como um “exercício, que inclui além variáveis puramente econômicas, também variáveis políticas ou semi-econômicas”¹²(TINBERGEN, 1962, p. 265).

A questão incluída nessa variante do modelo são os acordos preferenciais de comércio ou acordos que não versam diretamente sobre comércio internacional, mas gerariam facilidades para comercializar. Uma é a relação entre as nações da *CommonWealth* e a outra é o tratado de Benelux entre Bélgica, Luxemburgo e Holanda. As variáveis são construídas atribuindo zero às nações que não fazem parte dos acordos, e um quando as nações fazem parte do acordo. O mesmo é feito para as nações que têm fronteiras terrestres umas com as outras, sendo atribuído um em caso afirmativo. O modelo é representado pela equação 2.10:

$$E_{ij} = a_0 Y_i^{a_1} Y_j^{a_1} D_{ij}^{a_3} N^{a_4} P_C^{a_5} P_B^{a_6} \quad (2.10)$$

E_{ij} é o volume exportado pelo país i para o país.

$j; a_0$ é a constante.

$Y_i^{a_1}$ é o Produto Nacional Bruto (PNB) do país exportador;

$Y_j^{a_1}$ é o Produto Nacional Bruto (PNB) do país importador;

$D_{ij}^{a_3}$ é a distância entre os países i e j ;

N^{a_4} é a variável categórica para vizinhança, nações que possuem fronteira terrestre;

$P_C^{a_5}$ é a variável categórica para nações da *CommonWealth*;

$P_B^{a_6}$ é a variável categórica para nações integrantes do tratado de Benelux.

Tinbergen (1962) em sua análise utiliza o PNB e não o PIB. A estrutura proposta é semelhante ao modelo base, apenas incluindo as variáveis categóricas. Linearizando a equação 2.10 utilizando logaritmo natural, tem-se a equação 2.11:

$$\log E_{ij} = a_1 \log Y_i + a_1 \log Y_j + a_3 \log D_{ij} + a_4 \log N + a_5 \log P_C + a_6 \log P_B + a'_0 \quad (2.11)$$

Onde: $a'_0 = \log a_0$

Como resultante desta aplicação, o autor obtém todos os sinais algébricos como o esperado. Nesse ponto o modelo está sendo proposto e testado, então teria a obrigação de resultar como o teorizado. Posteriormente, como será visto ainda neste capítulo, a

robustez estatística do modelo passa a ser utilizada para testar a inclusão de elementos no corpo teórico da economia internacional.

Neste momento, o autor se preocupa com a validade do modelo e advoga pela robustez das três variáveis básicas que o compõem - PNB_i , PNB_j e $Distância$, visto que a inclusão de novas variáveis ampliou a capacidade explicativa, porém alterou coeficiente das variáveis principais apenas de forma marginal. Das variáveis da equação 2.11, apenas a variável categórica para as nações da *CommonWealth* é significativa a 0,99. É interessante o resultado no qual a fronteira terrestre entre as nações não é estatisticamente significativa, no entanto a relação histórica colônia-matriz o é.

A histórica relação colônia-matriz foi aventada e testada no modelo, pois teria potencial para ampliar os fluxos de comércio entre essas nações por meio do estabelecimento prévio de canais de comercialização e pela conformação produtiva complementar da colônia com a matriz. Adiante nesse capítulo são abordadas outras questões como similitude legal e institucional, dado a influência da matriz na formação da ex-colônia e a facilidade de negociar no mesmo idioma entre grupos de cultura semelhante.

Por fim, Tinbergen (1962) apresenta a terceira e última variação do seu modelo, que inclui um índice entre as variáveis explicativas.

A variável G é o índice de Gini para a concentração de exportações e visa perceber se o fluxo de exportações está relacionado a uma estrutura, pauta de exportações, mais diversificada ou especializada em *commodities*. Quanto maior o volume de exportação de *commodities* em relação ao volume total, mais o índice se aproxima de 100, tendendo a zero caso a pauta seja mais diversificada. A classificação SITC - *Standard International Trade Classification* - foi utilizada para classificar as exportações.

A quantidade de países analisados nesse modelo é 28 - um número reduzido, pois nem todos apresentaram dados com a classificação necessária para a construção do índice de Gini.

$$E_{ij} = a_o Y_i^{a_1} Y_j^{a_1} D_{ij}^{a_3} G_i^{a_8} \quad (2.12)$$

E_{ij} é o volume exportado pelo país i para o país j ; a_o é a constante.

$Y_i^{a_1}$ é o PNB do país exportador;

$Y_j^{a_1}$ é o PNB do país importador;

$D_{ij}^{a_3}$ é a distância entre os países i e j ;

G é o índice de Gini para concentração em *commodities* do volume exportado.

$$\log E_{ij} = a_1 \log Y_i + a_1 \log Y_j + a_3 \log D_{ij} + a_8 \log G_i + \hat{a}' \quad (2.13)$$

Onde: $\hat{a}' = \log a_0$

Todas as três equações apresentadas por Tinbergen (1962) foram estimadas por Mínimos Quadrados Ordinários. Após apresentar as três equações e suas estimativas, o autor faz uma análise do conjunto, em que advoga que o desvio padrão do coeficiente para as três variáveis principais - PNB_i , PNB_j e $Distância$ - é menor do que para as demais variáveis testadas, concluindo que esse é um indício da robustez e capacidade explicativa dessas variáveis. A capacidade explicativa média dos modelos ficou na casa de 0,8.

A diferença entre os coeficientes para o PNB do exportador e do importador é similar em todas as variações estimadas, sendo maior para o exportador, o que indica que nações com significativa diferença entre suas economias não tendem a um equilíbrio de comércio.

Embora o modelo ainda fosse considerado em elaboração pelo autor, essa conclusão chama a atenção e tem importante apelo na proposição e defesa da adoção de políticas que, efetivas ou não, intencionam buscar o equilíbrio entre economias menores e maiores.

Utilizando os parâmetros estimados, o autor calcula o volume 'ideal' que cada nação deveria ter em função do comportamento médio, e calcula o desvio entre o realizado e o estimado em função do realizado. Dessa forma, as nações que comercializaram mais encontram desvios positivos, e as que comercializaram menos desvios negativos. O autor dedica-se, então, a conjecturar as motivações dos desvios negativos, considerados mais importantes do que os desvios positivos por serem frutos de restrições ou discriminação.

Sobre a equação e a constituição do modelo descrito até agora, assim como as três outras variantes apresentadas por Tinbergen (1962), chama a atenção para o fato de a análise ter grande simplicidade e por partir do campo empírico, utilizando-se da análise estatística de seção transversal, e não tentando modelar uma função a partir de um arcabouço teórico específico.

Embora interessante, a ausência de uma estrutura teórica robusta de lógica causal é fonte de críticas ao modelo em proposição. Leamer e Stern (1970, p. 169) afirmam que “o significado da pesquisa deve ser encontrado no contexto de busca da compreensão ampla da base empírica e da teoria do comércio internacional. Isso é algo que uma série de estudos citados falhou em deixar claro.”¹³

O modelo gravitacional proposto por Tinbergen (1962) não considera os preços dos produtos, sejam eles nominais ou relativos; não tem funções que especificam a

demanda ou a oferta das nações; não possui funções de produtividade; e também não contempla uma análise evolutiva de como as exportações de dado país se comportam ao longo do tempo. É, portanto, uma análise que desconsidera, a princípio, as causas, como o bem elaborado e resiliente conceito de vantagens comparativas de [Ricardo \(1996\)](#), e permite avaliar n elementos, que podem ser valores nominais, índices ou características convertidas em variáveis categóricas, que possam ter alguma correlação com o volume transacionado. O autor ressalta que a proposição é um ponto de inflexão por essas características.

“No separate demand and supply functions for exports are introduced - meaning that the equation is a turnover relation in which prices are not specified; and only a static analysis is made - no attention is paid to the development of exports over time.” (TINBERGEN, 1962, p. 263)

Dadas essas características, a robustez estatística que suas equações alcançam sem violar pressupostos estatísticos e a ampla quantidade de informações sobre o comércio internacional, produzidas oficialmente pelos estados nacionais, o modelo gravitacional se tornou um instrumento de teste empírico para elementos aventados por estudiosos do tema. Esses pesquisadores, após conjecturar, podem testar se a relação hipotética apresenta significância estatística em uma análise econométrica suficientemente robusta. Curiosamente, na prática, o modelo, que deixa um vazio de teorias que o expliquem em sua estrutura, é aquele utilizado para apoiar a inclusão de novas características em modelos teóricos.

De todos os modelos e equações apresentados neste tópico, nenhum versa especificidades de produtos, ou seja, não se aplicam a mercados específicos como o de bens agrícolas. As características abordadas são para ‘a unidade de análise’, nos casos apresentados regiões ou nações.

2.3.1 Massa - fatores positivos

Quanto maior a massa dos corpos, maior a força de atração entre eles. Para os economistas a ‘massa’ é, inicialmente, analogia para o tamanho da economia. Maiores, mais desenvolvidas e mais complexas economias tenderiam a ter maior ‘poder de tração’, ou seja, maior propensão à integração econômica.

[Anderson \(1979\)](#) e posteriormente [Anderson e Wincoop \(2001\)](#) oferecem uma explicação teórica, partindo de conceitos microeconômicos, do porque haveria essa maior propensão à integração em função do tamanho das economias. Duas características são interessantes nessa proposição: 1 - há separação entre bens transacionáveis e não transacionáveis no comércio internacional; 2 - a economia nacional é incluída como alternativa de suprimento da própria demanda, ou seja, a demanda da nação j

por bens transacionáveis pode ser satisfeita por qualquer nação do mundo, incluindo ela mesma.

Os fundamentos microeconômicos são adicionados ao pressupor uma função de maximização de utilidade, na qual os consumidores da nação j buscam maximizar sua utilidade, dedicando parte de sua renda para bens transacionáveis que, por sua vez, podem ser adquiridos do melhor ofertante, seja ele local ou estrangeiro.

Assim, toda nação produz ambos os tipos de bens - transacionáveis e não transacionáveis -, e a demanda de j por bens transacionáveis é função de sua renda na proporção a_j , que se distribui entre diversas nações. Especificando a relação com a nação i , a nação j demandará dessa uma proporção de a_j , sua demanda total por bens transacionáveis, s_j , chegando à equação 2.14:

$$T_{ij} = s_i a_j GDP_j \quad (2.14)$$

Onde:

T_{ij} é o volume de exportações de i para j ;

a_j é a proporção da renda de j despendida com bens transacionáveis;

s_i é a proporção da demanda de j por bens transacionáveis adquirida da nação i .

Assim, o equilíbrio no mercado de bens transacionáveis se dá quando o volume de importações e exportações se igualam, ou seja, a demanda por importações de i é igual ao somatório da demanda de todas as outras nações por exportações de i . Como a demanda de cada nação por bens transacionáveis é uma proporção de sua renda, por sua vez dividida entre todas as nações ofertantes, a demanda por exportações de i será na proporção s_i de toda demanda mundial. Formalizada na função 2.14:

$$a_i GDP_i = s_i \sum_j a_j GDP_j \quad (2.15)$$

Onde:

$a_i GDP_i$ é a proporção da renda de i despendida em importações de bens transacionáveis;

$s_i \sum_j a_j GDP_j$ é o somatório da demanda das demais nações j na proporção s_i por exportações de i .

Resolvendo e simplificando ambas as equações acima, tem-se que o comércio bilateral será função da proporção a da renda de ambas as nações dedicadas à demanda por bens transacionáveis, em proporção de todo o comércio realizado por essas duas nações com todas as demais nações. Assim tem-se uma formalização do modelo gravitacional justificada com conceitos micro de maximização de utilidade na

equação 2.16.

(2.16)

Desta forma, entende-se como a 'massa' exerce força para a integração entre as economias - quanto maior a renda dos indivíduos, maior será seu dispêndio em bens transacionáveis. Por sua vez, na busca pela maximização de sua utilidade, esses consumidores podem consu

$$T_{ij} = \frac{a_i GDP_i a_j GDP_j}{\sum_i \sum_j T_{ij}}$$

los internamente ou externamente. No entanto, a analogia utiliza apenas as forças naturais que o tamanho das economias causa sobre o volume transacionado entre elas. Passa a incluir todas as variáveis e características que ampliam esse volume, tornando-se assim um vetor de elementos com interações aditivas e multiplicativas, cuja resultante é determinante do quantitativo transacionado entre duas economias.

A adjetivação de elementos e forças naturais e artificiais aplicados ao modelo gravitacional encontra outros paralelos na literatura. Sá Porto (2002) utiliza essa mesma classificação, com as mesmas conotações, para explicar as relações que ocorrem naturalmente a livre mercado e aquelas causadas por elementos naturais, como a geografia física, perecibilidade do produto, etc.; e aquelas cuja causalidade se origina em uma ação política - ou seja, são artificiais -, como barreiras comerciais, tributos, etc.

Com a evolução e ampliação da aplicação do modelo gravitacional, a 'massa' aglutina todos os fatores positivos. O modelo passa a se distanciar da lógica newtoniana e incorpora dois vetores: 1- um com o conjunto de elementos que ampliam o comércio e a integração, ou seja, causam 'atração' entre os corpos; 2- e outro, detalhado na subseção seguinte, que é o conjunto dos elementos que 'repelem' os corpos, ou seja, diminuem o fluxo de comércio e reduzem a integração entre as economias.

Essa mudança de lógica é importante e, assim como uma licença poética, abre espaço para a inclusão de toda sorte de variável e característica que se possa relacionar ao objeto. É possível assim, além da abordagem da maximização da utilidade, incluir a minimização dos custos, elemento que é melhor abordado no tópico 2.3.2 baseado no teorema de Hicks (1939). Perroux (1983) aborda a relação entre as regiões em função de sua dependência técnica, fator cada vez mais relevante da integração das cadeias produtivas, porém não abordado pelos modelos gravitacionais citados.

Embora a 'massa' representada inicialmente por alguma forma de medir o tamanho das economias, seja PIB, PIB *per capita*, PNB, PNB *per capita*, tamanho da população, entre outras possíveis, se mantenha em todas as aplicações do modelo gravitacional e seja uma de suas características de identificação, soma-se a ela, sem pretensão de manter paralelo com a lógica newtoniana, n variáveis suscitadas em debates sobre comércio internacional, podendo ser numérica - contínua ou discreta -

ou categórica - por meio de variáveis dicotômicas.

Embora listadas juntas acima, as variáveis PIB e tamanho da população eventualmente aparecem em combinações distintas, podendo aparecer como PIB *per capita*, já refletindo a riqueza relativa potencialmente à disposição da população. Outras vezes são dispostas juntas, de modo que cada uma possui um coeficiente e tenham interpretações distintas. O coeficiente associado ao PIB demonstra como o crescimento do produto amplia a demanda por importações independente do tamanho da população, o que é uma explicação mais fácil de ser aceita do que a interpretação que se tem para o tamanho da população dissociado do PIB, o que resulta dizer que o crescimento da população causará o aumento por importações, independentemente da renda.

Outra forma de mensurar o tamanho das economias é utilizar o tamanho da área total de seu território. Embora essa forma se aproxime mais do entendimento newtoniano, é antagônica ao pensamento econômico no qual o tamanho em termos econômicos está relacionado às interações humanas de produção e consumo. Nações que possuem grandes desertos, por exemplo, tendem a ter grandes territórios e pouca capacidade de demanda em virtude, justamente, de suas áreas desérticas. No entanto, autores como Frankel (1997) defendem a inclusão da variável para verificar se a amplitude do território reflete a abundância de algum fator de produção natural. Assim, quanto maior o território, maior a chance de disponibilidade de recursos naturais. Se estatisticamente significativa, espera-se uma relação positiva com o fluxo de comércio.

Tinbergen (1962) utiliza nas variações iniciais de seu modelo variáveis para Acordos Preferenciais de Comércio - APC, o faz utilizando variáveis categóricas, representado três situações possíveis: 1 - fazer parte da *CommonWealth*; 2 - fazer parte do Benelux e 3 - não fazer parte de nenhum desses. Fazer parte de um acordo bilateral ou multilateral é análogo a ampliar a 'massa' desta economia, quando comercializa com outra também signatária do acordo. Não há relação entre o acordo e o PIB de uma nação, mas ambos têm efeitos positivos sobre o fluxo comercial, sendo, portanto, elementos do mesmo vetor que causam 'atração' entre essas economias.

Ao modelo foi incluído diversas variáveis categóricas para mostrar como ACP interferem no fluxo comercial. Aitken (1973) foi o primeiro a utilizar o modelo tendo como objeto de estudo o ACP, especificamente a Comunidade Comum Europeia.

Fazer parte da *CommonWealth* não é um acordo multilateral, mas é entendido como uma condição histórica de proximidade entre essas nações em diversos âmbitos. Compartilham o mesmo idioma, tradições e as culturas são semelhantes. A maior atual integração seria derivada da relação comercial compulsória entre colônia e matriz previamente existente, que criou instituições que mantêm maior propensão ao comércio entre essas nações. A variável categórica é então adicionada para refletir um fato

histórico que ainda influencia no fluxo comercial de forma distintiva. Isso ilustra a flexibilidade desse gênero de variável e como n características podem ser inseridas no modelo.

O idioma, enquanto *proxy* de proximidade cultural, ou facilitador da comunicação, é utilizado. Nações que falam o mesmo idioma recebem o valor um e nações que falam idiomas diferentes, o valor zero. Espera-se que essa variável tenha relação positiva com o fluxo de comércio, pois diminui a 'distância relativa', ou seja, o medo ou aversão ao diferente, uma vez que haveria maior facilidade de se comunicar com alguém no mesmo idioma que o seu e que, conseqüentemente, compartilha outros elementos culturais.

A importância do idioma nas relações internacionais tem mostrado resultados positivos, porém não permanentes. [Azevedo \(2004\)](#), ao fazer uma análise para diferentes períodos, percebe relevantes variações nos coeficientes, assim como perda de significância estatísticas.

Uma variação desta abordagem é utilizar uma variável categórica caso o país faça parte de um bloco linguístico dominante, ou seja, que tenha como idioma oficial um dos mais falados do mundo. A título de exemplo, pode-se citar o Inglês, Português, Espanhol e Francês. Como a análise é feita, usualmente, entre países, o idioma facilitador não é o mais falado em número de habitantes, mas em número de países.

É comum a utilização de variáveis categóricas para nações adjacentes, ou seja, as que fazem fronteiras umas com as outras. Essa característica ampliaria o fluxo de comércio, independentemente da distância, e essa é uma observação pertinente, pois facilitaria o comércio por cruzar um menor número de fronteiras e, assim, incorreria em um menor número de barreiras artificiais.

Para ilustrar, imagine dois pares de nações hipotéticas - A, B e C, D - cuja distância entre elas é equivalente, $\overline{AB} = \overline{CD}$. No entanto, A e B fazem fronteira, enquanto C e D não. Assim, os fluxos entre C e D precisam cruzar a fronteira de outros países antes de chegar ao destino e, eventualmente, seriam tributadas e enfrentariam resistência burocrática, despenderiam tempo, esforços e recursos financeiros para cumprir as obrigações legais nessa trajetória. É por este motivo que autores como [Prewo \(1974\)](#) incluem a variável adjacência, da qual se espera uma relação positiva com o fluxo comercial, ao analisar os efeitos da nascente Comunidade Comum Europeia - CCE.

Por fim, na análise econômica a 'massa' dos países é o somatório de todas as forças, características e outros elementos de toda natureza que favoreçam a integração entre essas economias e, conseqüentemente, ampliem o fluxo de trocas entre elas.

2.3.2 Distância - fatores negativos

Quanto mais distante um corpo está de outro, menor é a força de atração entre eles. Há uma relação negativa entre distância e atração (NEWTON, 2018). Com essa relação é feita uma analogia, utilizada na economia, resume-se nesse vetor todos os elementos que dificultam a integração econômica.

A analogia e a variável *proxy* distância são úteis na economia pois há maior propensão de que um conjunto maior de elementos se interponha entre dois agentes econômicos quanto maior for a distância entre eles, não se atendo assim unicamente ao custo de percorrer um trajeto maior.

Quanto maior a distância, maior a chance de obstáculos físicos entre os países. Quanto maior a distância, maiores as chances de diferenças linguísticas e culturais. Portanto, a distância é um bom *proxy* por refletir essa maior propensão, mesmo que *per se* a distância não seja o elemento que reduz a integração. É incorreto afirmar que a distância seja incluída no modelo unicamente como *proxy* dos custos de transporte.

Nesta seção, o objetivo é abordar as características que foram destacadas em diversos trabalhos e que se mostraram relevantes para o vetor distância. Estes fatores então se somam à distância física, formando um vetor de elementos contrários à integração econômica. Embora se pudesse abordar a ausência ou o inverso das características elencadas na seção anterior como sendo negativamente relacionadas ao fluxo de comércio, essa não é a abordagem padrão. Nesta seção são tratadas as características cujo coeficiente se espera que tenha sinal algébrico negativo. Ficará claro até o final do tópico que o quantitativo desse gênero de característica é menor do que as que possuem relação positiva com o fluxo comercial.

Segregar as características que compõem esse vetor é importante pois dá mais acurácia aos modelos, reduz os desvios e más interpretações acerca da distância física e dos custos de transporte. Também auxilia na composição ou validação de teorias, verificando se dada característica é estatisticamente significativa ao reduzir os fluxos de comércio. E ainda sustenta a proposição de políticas focadas nesses elementos, que podem então ser abordados e dirimidos.

Inicialmente, a abordagem metodológica utilizou a distância geodésica entre as capitais dos países medida em milhas náuticas ¹⁴, e assim foi feito por alguns motivos elencados a seguir.

Medir distância requer pressupor dois pontos: enquanto nações são grandes áreas, assim os autores variam entre escolher a distância entre as capitais ou entre as cidades mais populosas de cada país. A primeira era mais comum, inicialmente, frente à dificuldade de obter dados sobre tantos países com confiança. Já a segunda

foge às complicações das nações que têm mais de uma capital - capital para diferentes poderes da república -, ao mesmo tempo que reflete o ponto da nação com maior concentração de pessoas, ou seja, produtores e consumidores.

Ao se utilizar dos grandes mapas e cartas náuticas para estimar a distância entre as capitais, tem-se como resultante a distância geodésica, valor do menor arco sobre a superfície terrestre entre os dois pontos. Não se observou nesta revisão um trabalho que tenha utilizado a real distância a ser percorrida, em nenhum modal de transporte, por pessoa ou produto entre os dois pontos estipulados. Reforçando a distância física como *proxy* das dificuldades e custos.

Foi assim que Tinbergen (1962) e Linnemann (1966) fizeram o uso da distância, sem agregar nenhuma outra variável que tivesse relação contrária com o fluxo de comércio. Embora Tinbergen (1962) utilize uma variável índice - discreta e limitada entre zero e cem -, que demonstra o nível de especialização da pauta de exportações na terceira variação apresentada de sua equação, ele não descreve que sinal algébrico esperava da variável. No entanto, essa demonstra ser negativa em suas estimativas, quanto maior a especialização, menor o volume exportado.

Embora pareça simples medir a distância entre dois pontos, e que quanto maior a distância proporcionalmente maior será o número de barreiras ao comércio nela contida, sendo então um bom *proxy*, a distância é objeto de várias críticas e questionamentos. É objeto central neste trabalho exatamente porque pode agrupar elementos distintos, cujas relações com o volume transacionado sejam inversas e que quando estimadas para um só coeficiente (β) apresentam apenas o saldo resultante dessas forças.

A primeira forma de medir a distância entre duas nações é a simplificação desta medida como sendo a distância entre dois pontos. Isso implica dizer que toda a população se concentra no ponto escolhido, usualmente a capital ou a cidade mais populosa, deixando todos os efeitos negativos sobre o comércio contidos nessa variável e, claramente, ignorando a distância entre produtores e consumidores distribuídos no território. A título de exemplo, aqueles que vivem próximos à fronteira teriam uma menor propensão ao comércio com concidadãos do que com vizinhos além da fronteira.

Como o modal mais utilizado para o transporte de cargas entre países é marítimo, pode-se incluir uma variável categórica para diferenciar países que possuem e os que não possuem litoral, no qual esses provavelmente construiriam seus portos e os têm como elemento facilitador de comércio. Argumentação que se mostra factível frente a eventos como a Guerra do Pacífico (1879-1883), no qual a Bolívia perde seu território costeiro para o Chile e o reclama até os dias atuais - recuperar uma saída para o mar é obrigação do estado boliviano, prevista no capítulo quarto de sua carta

magna.

Embora seja um elemento natural ter ou não áreas costeiras, no livre mercado essa variável seria irrelevante, pois consumidores e produtores do interior incorreriam sempre nos mesmos custos de transporte. A análise então é de um conjunto de ações políticas, no qual os países com portos mais próximos, úteis à nação que não detém área costeira, podem dificultar ou encarecer a passagem em benefício próprio. [Paudel e Burke \(2015\)](#) fazem uma análise específica sobre essa característica utilizando os dados do Nepal, nação asiática sem saída para o mar.

Neste caso, a categoria “países sem litoral” tende a ter sinal algébrico negativo, ou seja, é um elemento que dificulta a participação do país no comércio internacional por limitar os modais sobre o qual a nação tem soberania para determinar as formas de uso, sendo restringida do modal mais utilizado e, conforme já dito anteriormente, podendo enfrentar sanções das nações vizinhas que detêm portos úteis.

Caso o país seja uma ilha, há autores que o consideram geograficamente isolado, tendo seus modais de transportes limitados em relação a outras nações e acesso dificultado. Embora os críticos afirmem que o maior fluxo de transações internacionais de produtos se desloque por via marítima, o uso desta *dummy* não é incomum.

Essa abordagem amplia o “efeito fronteira”, como denominado por [McCallum \(1995\)](#), que percebeu que o comércio entre províncias canadenses era muito superior do que o comércio entre elas e estados estadunidenses de distância e tamanhos equivalentes. [Head e Mayer \(2010\)](#) elenca três possíveis explicações para essa diferença entre os fluxos: 1) as barreiras relacionadas às fronteiras são muito maiores do que o esperado; 2) elevada elasticidade de substituição entre produtos locais e importados; 3) efeito fronteira foi mal abordado, resultando em superestimação do mesmo. Esta última alternativa é apontada pelo autor como sendo a hipótese mais provável e responsável por criar um “efeito fronteira ilusório criado pela forma padrão de medir distância entre e dentro das nações”¹⁵([HEAD; MAYER, 2010](#), p. 166).

Tanto para produtores quanto para consumidores, o mercado interno é um substituto do mercado externo, e vice-versa. Nesse sentido, [Wei \(1996\)](#) critica os modelos que são estimados sem variáveis que reflitam o volume transacionado no mercado interno. O autor aborda esse vetor criando uma variável: produção local menos as exportações, que contrapõe o mercado interno ao mercado externo, reduzindo assim a superestimação do efeito fronteira contido na variável distância. A variável é interpretada como ‘efeito fronteira’, contrapondo a tendência a negociar com estrangeiros à tendência a negociar com concidadão, ilustra os custos e barreiras de cruzar a fronteira. Outra abordagem para essa dicotomia - comércio entre nações e intra-nação

- é a utilização da 'distância interna', que pode ser estimada de diversas formas e cada uma atrai diversas críticas. As formas mais simples de medir a distância interna consideram a área do país como base e aplicam arbitrários coeficientes de ponderação. Conceitualmente, a arbitrariedade dos coeficientes de ponderação é questão menor, sendo a uniformidade do espaço e da distribuição de produtores e consumidores no território a pressuposição mais distante da realidade.

Essa mesma pressuposição é vista no início da formação da ciência regional e na inclusão do espaço enquanto variável econômica nos trabalhos de August Lösch, Walter Cristaller e Johann von Thünen, ainda nos séculos XVIII e XIX. Tentando contornar pressuposições tão distantes da realidade, [Wolf \(1997\)](#) usa a distância entre as duas maiores cidades para ter uma *proxy* da distância interna. [Head e Mayer \(2010\)](#) utiliza a média distância entre a principal cidade de cada região do país ponderada pelo GDP da região.

Alternativas metodológicas e críticas à parte, é relevante o reconhecimento e a consolidação do entendimento de que o mercado interno precisa ser inserido no modelo. Também é evidenciado que a distância aglutina elementos que precisam ser segregados e analisados individualmente.

Outro conjunto de elementos que podem ser aglutinados na distância física são os custos de transação e, ao citar custos de transação, abre-se um grande leque de elementos pecuniários, não pecuniários, tangíveis, intangíveis, que existem em função das diferenças institucionais, políticas, culturais, e etc. Tanto a Nova economia Institucional (NEI) quanto a Nova geografia Econômica (NGE) abordam esses custos e demonstram que sua importância não pode ser relegada.

Os custos mais comumente analisados de forma objetiva são os pecuniários, como custos de transporte e tarifas alfandegárias, que podem ser calculados ou estimados para cada par de nação. Como exemplo, tem-se a razão CIF/FOB, mesmo que o método seja alvo de alguma crítica, dado que há vários modais de transporte, diferentes aplicações de tarifas é uma aproximação viável.

As dificuldades oriundas de diferenças legais, culturais e linguísticas existem e têm sua magnitude em função da estrutura institucional das nações. Ou seja, o ambiente institucional propiciado pelas relações bilaterais pode mitigar os riscos percebidos pelos agentes, estimulando a integração entre essas economias. [Rocha Jr \(2004, p. 305\)](#) afirma que "estrutura de governança detém uma forma de com-binação entre os agentes que é mais compatível com um determinado contrato, pois a sua função é facilitar as trocas de produtos ou serviços entre esses agentes". Ou seja, diferentes arranjos institucionais propiciarão maiores ou menores custos de transação.

No entanto, quando utilizados nos modelos gravitacionais, esses custos se

apresentam como características e são abordados por variáveis categóricas, sem que se possa ter um indicador de intensidade que demonstre o peso desses custos entre diferentes nações. Isso acarreta um viés na estimativa, visto que o coeficiente refletirá o comportamento médio para as nações cuja característica é positiva, podendo ocultar outros vetores. Novamente, vetores que se somam e apresentam nos coeficientes (β) sua resultante não são úteis à proposição de políticas para ampliar a integração e o aumento do fluxo de comércio.

Por exemplo, idiomas diferentes requerem custos maiores para negociar e elaborar contratos. No entanto, ao utilizar no modelo uma variável categórica para nações de mesmo idioma, o que se tem no coeficiente é o comportamento médio para n elementos comuns e inobservadas, captado por essa variável e que não necessariamente está relacionado ao idioma. Os custos de transação “são determinantes cruciais da força de interdependência espacial das regiões e, portanto, da relevância do acesso ao mercado”¹⁶ (BOSKER; GARRETSEN, 2010, p. 220). Então, sem uma abordagem correta dos custos de transação, a distância é superestimada, pois soma-se a ela a dificuldade de acessar o mercado externo.

Para esse amplo, porém difícil de estimar, conjunto de custos intangíveis de transação utiliza-se o conceito de “fricção no comércio”¹⁷, elementos e características que custam, reduzem ou dificultam o comércio internacional. Esses poderiam ser estimados pela diferença entre o fluxo ideal estimado e o realizado, no entanto, seria preciso pressupor que todas as demais características tangíveis estão bem representadas no modelo. Bosker e Garretsen (2010) demonstram várias abordagens com base na NGE, porém as equações para estimação dos custos de transação são sensíveis às variáveis utilizadas, não convergindo para valores próximos.

Mais difícil de estimar são as fricções bilaterais de comércio, ou seja, os custos que cada par de nação tem ao comercializar, como os tributos e taxas de importação e exportação, segurança institucional e logística do exportador e do importador somados. Ao aplicar o modelo gravitacional, utiliza-se os valores de exportação, sem considerar que os custos e os riscos percebidos pelos agentes econômicos são considerados muito antes, na decisão de produzir, e consideram um conjunto de informações não captadas pelo valor exportado. A decisão de exportar ou importar compete, inclusive, com o mercado local. Anderson e Yotov (2008) estima a incidência dessa resistência multilateral com viés ao mercado local para diferentes províncias canadenses.

No entanto, o conceito de fricção parece ser tênue demais. Diferente do atrito que pode ser desconsiderado nos exercícios de física básica, a NEI atribui grande importância aos custos de transação e ao papel das instituições ao dirimir esses custos. Segundo Silva Filho (2006), a NEI utiliza esses conceitos para suprir as deficiências

das teorias neoclássicas, atingindo um maior grau de realismo.

A relevante diferença entre os níveis dos fluxos internacionais de comércio ideais estimados e os realizados não pode ser atribuída a um viés de preferência pelo produto local, o que violaria pressupostos amplamente aceitos e realizáveis - mesmo dado uma racionalidade parcial ou limitada, como o intuito de maximização da satisfação por parte dos consumidores e do lucro por parte dos produtores.

Piani e Kume (2000) acrescentam ainda questões psicológicas dos agentes econômicos envolvidos. Ao requerer maior tempo de transporte, os processos de importação e exportação ampliam os riscos neste ambiente de diferenças legais, institucionais e culturais, que tornam mais custoso e difícil a resolução de qualquer litígio, sendo que qualquer ato oportunista só será percebido depois de um tempo maior, quando da entrega física do produto.

Rocha Jr (2004, p. 303) afirma que “existem custos na utilização do sistema de preços, quer este seja feito pelo mercado, quer seja feito pela firma”. Portanto, a cooperação espontânea à livre mercado não ocorre de forma ideal, sendo o agente econômico direcionado para o mercado onde há menores custos de uso do sistema, não sendo, portanto, substitutos perfeitos o mercado interno e externo. Den Butter e Mosch (2003) discutem o custo da informação e da busca por produtos e preços no mercado internacional.

Mohlmann et al. (2009) utiliza fluxos comerciais desagregados e faz uma análise setorial, encontrando diferentes magnitudes para a relação GDP e distância para diferentes setores para os mesmos pares de países. Por sua vez, afirma que os custos de transação crescem com as diferenças culturais, havendo diferentes dimensões para a distância, que explicam “a falta dos fluxos comerciais também podem originar-se parcialmente de dimensões alternativas de distância no comércio. Essas outras dimensões de distância podem incluir cultura e distâncias institucionais.”¹⁸(MOHLMANN et al., 2009, p. 225).

Similitude cultural e institucional poderiam coibir o comportamento oportunista, facilitar a execução de contratos e reduzir incertezas (GROOT et al., 2004). Essa abordagem multidimensional da distância passa a incluir o idioma, religião predominante, relações coloniais, porém evita incorrer no possível erro do uso exclusivo de variáveis categóricas. Essas tendem a ilustrar a similitude e capturam efeitos médios para nações semelhantes, como já afirmado aqui.

A abordagem de Mohlmann et al. (2009) utiliza-se de diferentes índices de governança para estabilidade política, qualidade regulatória, controle de corrupção e Estado de direito. A vantagem dessa abordagem, mesmo que os indicadores não tenham sido construídos para essa finalidade, é a existência de graduação dos indi-

cadres, sendo, portanto, uma *proxy* graduada para as diferenças e não uma variável categórica para as semelhanças. Quando se adota uma variável categórica, esta indica que há ou não há a característica. Neste caso, a variável com uma escala de graduação indica o nível relativo em que essa característica se faz presente. Além das implicações teóricas para a análise, há implicações estatísticas que precisam ser consideradas quando se adotam variáveis categóricas.

Ao se abordar a influência legal e institucional sobre o fluxo comercial, não se pode presumir que ela seja sempre positiva. Há Estados que implementam medidas visando restringir o fluxo comercial. Campos e Schneider (2017) abordaram este tema e perceberam um maior volume de subsídios ao setor agrícola e barreiras não tarifárias (BNT) após a crise internacional de 2008, ou seja, as nações adotaram políticas defensivas que impactaram negativamente no fluxo comercial.

Outra questão relevante, que não tem nenhuma relação com a distância, mas fica alocada nesta seção pois é um dos elementos que têm relação inversa com o fluxo bilateral de comércio, é a resistência multilateral, termo atribuído à Anderson e Wincoop (2001).

O fluxo entre duas nações não depende apenas das características dessas, mas da diferença entre elas e todas as demais, pois todo consumidor enfrenta *trade offs*, tem em um fornecedor o custo de oportunidade de outro. Originalmente, e na ampla maioria de suas aplicações, o modelo gravitacional avalia as relações comerciais par a par, ignorando assim que um mesmo produto pode ser comprado de diferentes nações, ou vendido a diferentes nações.

A escolha, quando há mais de um potencial fornecedor ou comprador, depende das diferenças relativas de custos, e aí inclui-se todos os custos tangíveis e intangíveis antes mencionados. Assim, a resistência bilateral envolve os fatores e características, par a par, que dificultam o comércio entre duas nações. Já a resistência multilateral é o peso da alternativa, os fatores e características do ‘mercado mundial’, ou a diferença entre os custos e riscos percebidos entre comercializar com dada nação e comercializar com outra aquele mesmo produto.

Acordos preferenciais de comércio, que já foram abordados anteriormente, podem ser explicados por essa perspectiva. Ao fazer parte de um grupo de signatários de um APC, o país cria um elo jurídico com aquelas nações e pode estabelecer instituições e práticas que favoreçam o comércio entre elas, reduzindo assim a distância relativa entre esses países.

Como já visto anteriormente, a distância geodésica inicialmente utilizada no modelo abarcava um conjunto significativamente grande de elementos contrários ao fluxo de comércio e, ao longo do tempo, vem sendo desagregado a cada contribuição

teórica, metodológica ou empírica. A extensão que as equações estimadas tem tomado não é um exercício de futilidade ou um fim em si, mas a busca de entender quais elementos ainda se ocultam nesta variável que, se entendida e mensurada, pode ajudar os agentes econômicos e as instituições a mitigar os fatores contrários ao fluxo de comércio, ampliando a integração econômica e a eficiência produtiva mundial.

2.4 Questões metodológicas do modelo gravitacional

Como já mencionado anteriormente ao recuperar a história do modelo gravitacional, este surge no campo empírico sem refletir em suas equações um modelo teórico específico para o comércio internacional. É, portanto, alvo de muitas críticas, que não são unicamente de natureza teórica, mas também metodológica e estatística.

Ao buscar na análise realizada dos fluxos de comércio a resposta para suas causas, os autores encontram dados abundantes produzidos pelos estados nacionais, que são suas estatísticas oficiais. Porém, nem sempre as informações se apresentam de forma útil à análise econômica, pois são produzidas para fins administrativos e fiscais de Estado, sendo muitas vezes tratadas como variáveis *proxy*, que refletem de forma imperfeita o objeto que se deseja avaliar. Ou faz-se necessário tratar ou manipular a informação, e convertê-la em índice, por exemplo.

A estatística e a econometria impõem premissas e requisitos rígidos em seus métodos para que se possa afirmar causalidade - requisitos esses que com frequência não são atendidos e que precisam ser resolvidos. Esta seção é sobre questões metodológicas recorrentes no modelo gravitacional, ou seja, sobre críticas oriundas da estatística e da econometria.

Uma questão que pode ser observada nas primeiras equações apresentadas nesse trabalho - 2.7 e 2.8 - que empregam de forma intercambiável o PIB e o PNB, é que os autores alteram a forma de mensurar o tamanho de uma economia. No entanto, ambos os indicadores, embora possam ser intercambiáveis em uma série de aplicações, não o são sem ressalvas.

Em especial chama a atenção nesta aplicação a relação entre o tamanho da economia e sua possibilidade de consumo. Ao empregar o PIB, considera-se o tamanho de uma economia pelo valor gerado dentro de seu território. É uma variável que refletirá a interação comercial do sistema produtivo local com os demais países, importação e exportação de bens intermediários. Ao empregar o PNB, tem-se o tamanho de uma economia enquanto total de recursos gerado por seus residentes. Este fator se relaciona de forma mais estreita com a capacidade de importação de bens e serviços finais para consumo dos residentes, assim como se relaciona com os fluxos estrangeiros de

investimentos. Embora haja modelos gravitacionais dedicados ao entendimento dos fluxos de investimento, este não é o objeto deste trabalho e não se soma aos fluxos comerciais nas análises verificadas nessa pesquisa.

O emprego de PIB e PNB deve, portanto, ser avaliado e considerado em sua análise dos coeficientes encontrados. Um exemplo que ilustra essa argumentação é a diferença entre PIB e PNB dos Estados Unidos da América e seu persistente déficit na balança comercial, déficit esse financiado pelas remessas de lucro de suas multinacionais (PNB>PIB) e pela capacidade de atração de recursos externos.

Um outro problema recorrente na análise empírica é a ausência de informações - dados - específicos sobre o objeto de estudo que se apresentem de forma extensa no tempo e para todo o universo - indivíduos da população analisada. Ao empregar o modelo gravitacional utilizando os fluxos econômicos par-a-par com base na Equação 2.8, frequentemente se incorre em bases de dados com um significativo número de dados faltantes, pois na análise par-a-par é de se esperar que nem todos os países comercializem entre si. [Haq et al. \(2012\)](#) analisa a utilização do modelo gravitacional para 46 bens agrícolas e aponta que dados faltantes ou as alternativas metodológicas para lidar com esses dados faltantes (a atribuição do valor zero para pares de nações que não comercializam determinado bem agrícola ou ainda a atribuição de um pequeno valor positivo¹⁹) causam viés de seleção e afetam significativamente a magnitude das estimativas.

[Azevedo \(2004, p. 250\)](#) lista procedimentos comuns ao lidar com valores ausentes, ou zero, de fluxo comercial: "(i) descartar as observações em que tal fato ocorre, (ii) substituir por valores próximos a zero e (iii) recorrer à aplicação do modelo Tobit". No entanto as formas mais comuns são amplamente criticadas por gerar vieses, [Coe e Hoffmaister \(1998, p. 10\)](#), por exemplo, criticam a remoção sistemática de observações levando a uma espécie de viés de seleção, assim os autores afirmam que "omitindo estas observações representam uma seleção não aleatória dos dados que pode levar a um viés ou estimativas inconsistentes²⁰".

O emprego do modelo Tobit não está relacionado com a forma de estimação, mas ao emprego de variáveis dependente (explicada) censuradas, ou seja, que se sabe previamente que não podem assumir qualquer valor. O modelo surge a partir das pesquisas de James Tobin sobre o dispêndio das famílias (ou dispêndio doméstico), que continha uma base de dados com muitas observações cujo valor da variável dependente era zero, tal como acontece em modelos gravitacionais de aplicação unilateral. A semelhança traz essa abordagem metodológica como uma alternativa, mas esta se mostra menos viável nos trabalhos de [Silva e Tenreyro \(2006\)](#), visto que apresentou dificuldade para lidar com valores zeros ou nulos.

Valores faltantes, ou ausentes, são uma questão discutida no âmbito da estatística, assim como as alternativas para lidar com essa questão. Para qualquer modelo econométrico, valores faltantes, se distribuídos de forma aleatória, reduzem a amostra, mas não causam viés (WOOLDRIDGE, 2016). No entanto, Haq et al. (2012) utiliza a correção sugerida por James Heckman²¹ para amostras não aleatórias. A correção chega a estimativas cuja magnitude diverge significativamente quando comparada ao mesmo modelo sem a correção. A divergência é atribuída ao viés de seleção, ou seja, os dados faltantes não são distribuídos de forma aleatória, a ausência de comércio para dado bem agrícola entre nações não é aleatória, mas apresentam um padrão de comportamento.

Outra alternativa que tem ganhado espaço rapidamente na aplicação do delo gravitacional é o emprego do método de estimação Poisson Pseudo Máxima Verossimilhança (PPMV²²). Este é uma das variações dos Modelo Lineares Generalizados (MLG) que permitem obter resultados viáveis com distribuições de erro diferentes da normal gausseana. Essa forma de estimação tem ganhado espaço dado o trabalho de Silva e Tenreyro (2006), que criticam as formas, até então, mais usuais de estimação para o modelo gravitacional e apontam como essas podem implicar em vieses e grande disparidade entre os coeficientes estimados e reais, sobretudo quando relacionado a variáveis dicotômicas.

A defesa do emprego do PPMV em detrimento de outras formas de estimação é bastante robusta, pois fora feito um estudo simulado, um conjunto de modelos semelhantes, que empregou diferentes formas de estimação como: MQO, Máxima Verossimilhança com diferentes tipos de distribuição de erro, e Tobit. Concluindo que:

“Usamos nosso método [PPMV] para reestimar a equação da gravidade e documentar diferenças significativas dos resultados obtidos usando o método log-linear. Por exemplo, elasticidades de renda na equação da gravidade tradicional são sistematicamente menores do que aqueles obtidos com regressões MQO log-linearizadas. Além disso, a estimativa MQO exagera o papel da proximidade geográfica e laços coloniais.” (SILVA, 2019, p. 653)

Tanto Silva (2019) quanto Haq et al. (2012) apresentam críticas semelhantes e buscam em diferentes formas de estimação a solução para esses problemas. O MQO log-linearizado é a forma inicial e a mais utilizada para estimar modelos gravitacionais, no entanto, a robustez dessas estimativas é delicada.

Outro comportamento recorrente ao especificar um modelo gravitacional, que está relacionado ao intercepto - α ou valor autônomo -, é o viés de heterogeneidade. Esse ocorre quando se estima o modelo por MQO adotando apenas um coeficiente, intercepto, para todas as unidades. Desconsidera-se assim as diferenças existentes na relação entre as duas regiões observadas em relação às demais.

[Sá Porto \(2002\)](#) utiliza uma metodologia que denomina de modelo gravitacional estendido. A adjetivação é decorrente do uso de variáveis dicotômicas e o modelo tem como base a Equação 2.10 apresentada anteriormente. Neste trabalho o autor percebe a relevância da heterogeneidade dos fluxos comerciais entre as regiões estudadas - estados brasileiros e os principais parceiros comerciais do Brasil - e emprega um conjunto de variáveis dicotômicas, uma para cada par de região, que captam as diferenças entre as regiões.

“No modelo EF [efeitos fixos], a restrição de que o intercepto do modelo gravitacional é o mesmo para todos os pares de comércio é removida e supõe-se que há efeitos que são fixos e específicos a cada um daqueles pares que são correlacionados aos níveis de comércio bilateral (a variável dependente no modelo gravitacional) e com as variáveis independentes.” (SÁ PORTO, 2002, p. 469).

Outro exemplo de problema de especificação do modelo é a severa crítica de Polak (1996) aos trabalhos de Frankel et al. (1994), na qual afirma que os autores incorreram em um erro básico: a má especificação do modelo, ou seja, a estruturação de suas variáveis e equações não representa a realidade que se deseja modelar estatisticamente. Frankel et al. (1994) concluíram que nações da Asian Pacific Economic Cooperation (APEC) constituem um bloco econômico, pois a variável categórica que os representa é estatisticamente significativa no modelo estimado sem, no entanto, haver um acordo multilateral formal entre essas nações. Esse elemento é ressaltado pelos autores e depois ironizado por Polak, visto que sem acordo multilateral não há instrumentos facilitadores para causar diferença.

A regressão resume o comportamento a seu efeito médio, regride à média. Portanto, ao incluir países muito distintos e um amplo espectro de distâncias entre as nações, a estimação do modelo encontra o comportamento médio, causando um viés de subestimação do valor ideal de fluxo comercial para nações mais distantes, ao mesmo tempo em que causa um viés de superestimação para nações mais próximas. Como foi citado anteriormente, Polak (1996) propõe o uso da variável “distância relativa”, ponderando a distância geográfica pela participação do país no PIB mundial.

A variável categórica para nações da APEC²³ identifica vinte e um países, alguns muito distintos entre si, como, por exemplo, Estados Unidos da América e Malásia, Canadá e Indonésia, e também alguns muito próximos e com grande valor de fluxo comercial, como Estados Unidos e Canadá. A modelagem então resultou na estimação de parâmetros que explicavam simultaneamente a relação Estados Unidos e Canadá, e México e Malásia. O modelo apresenta resíduos aceitáveis, pois parte desses desvios são ocultados pela variável categórica.

As críticas recebidas pelo modelo gravitacional desde seu início, de não ter um arcabouço teórico que o sustente e explique, se unem às más práticas econométricas, fato que cresce em proporção linear ao crescimento exponencial da capacidade com-

²³ Constituíram a APEC entre 1989 - 1998: Austrália, Brunei-Darussalam, Canadá, Estados Unidos da América, Indonésia, Japão, Coreia do Sul, Malásia, Nova Zelândia, Filipinas, Singapura, Tailândia, China, Hong Kong, República Popular da China, México, Papua Nova-Guiné, Chile, Peru, Rússia.

putacional. A profusão de dados e o aumento da capacidade computacional têm levado ao descuido com as premissas dos modelos estatísticos, causalidades espúrias, sinais algébricos inesperados e, assim como no caso percebido por Polak (1996), ao erro

tipo II - validar uma hipótese falsa -, pois os resíduos se acomodaram nas variáveis categóricas.

Sinais algébricos invertidos, coeficientes de magnitudes desproporcionais, blocos econômicos que não são realmente blocos, e qualquer outra divergência entre a teoria e a análise empírica são indícios de que a teoria está equivocada e é preciso melhorá-la, ou de que houve falha da modelagem e estimação do modelo. A robustez da teoria advém de sua lógica, e a robustez dos modelos econométricos da manutenção de suas premissas. Ambos devem convergir e se corroborar, e qualquer divergência entre esses dois elementos deve, ao menos, levantar suspeita sobre a análise feita.

3 Metodologia

Para a consecução dos objetivos desse trabalho foi utilizado um conjunto de procedimentos metodológicos divididos em duas etapas. A primeira tem como objetivo a composição de um portfólio bibliográfico no qual a metodologia do modelo gravitacional aplicado aos bens agrícolas é o foco. Sobre esse portfólio, foi feita uma análise qualitativa cujo objetivo é a sistematização das abordagens metodológicas elaboradas exclusivamente para a adaptação do modelo gravitacional aplicados a bens agrícolas. A segunda parte consiste no debate e teste de proposições metodológicas que visam incluir a rigidez das características edafoclimáticas no modelo gravitacional para comércio internacional.

Esse trabalho é, portanto, de natureza exploratória e busca, na observação da vasta literatura sobre o tema, as alternativas e a melhor abordagem para o uso do método para bens de categoria específica. Faz uso da lógica hipotético-dedutivo, sabendo que a literatura existente não está próxima da observação completa do objeto de análise e nem estará, por maior que seja o horizonte temporal abordado. Faz-se, então, de forma prudente, as observações e as antecipações compondo os postulados, e busca elementos que corroboram com os postulados levantados, assim como descrito por Kaplan (1972). O método é comparativo, pois procede à comparação entre as diferentes abordagens utilizadas e suas justificativas, tendo em vista ressaltar as diferenças, quando aplicado a padrões distintos de objetos, e as similitudes, quando aplicado à mesma classe de objetos, buscando compreender a convergência que se forma.

Na primeira parte dessa seção, são descritos os procedimentos elaborados e executados para compor o portfólio bibliográfico. Posteriormente, são descritos os procedimentos de obtenção, seleção, tratamento e classificação da literatura. Foi feita uma análise bibliométrica do portfólio, que é apresentada na primeira parte da seção 4.1.

3.1 Composição do portfólio bibliográfico

Desde a criação formal de bases de arquivos científicos, em seus diversos tipos de registro, as mudanças tecnológicas têm sido aplicadas para a preservação, sistematização e consultas desse conhecimento. A proposta de revisar todo o conteúdo produzido para determinado tema é há muito tempo apurada pelos pesquisadores.

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é um método amplamente utilizado nas ciências da saúde e nas ciências médicas. Sir James Lind fizera uma RBS sobre a

prevenção e tratamento de escorbuto em 1753, um dos registros mais antigos do uso dessa metodologia, segundo [Galvão e Pereira \(2014\)](#).

A implementação desse método nas ciências sociais é mais recente. Isso decorre da estrutura textual utilizada por essa área da ciência, que principia com longos textos que vieram a se tornar seminais para as ciências sociais. Com a evolução acadêmica das ciências sociais, passou-se a adotar o sistema de artigos, ou *papers*, que são textos mais curtos em publicações periódicas. A ampliação das academias e do número de pesquisadores levou, conseqüentemente, ao aumento do número de artigos publicados todos os anos.

Essa pluralidade de pesquisadores, que publicam em periódicos dispersos espacialmente, ampliou a dificuldade de elaborar uma revisão bibliográfica tradicional ou narrativa, na qual o pesquisador parte de um trabalho e analisa fontes correlatas, trabalhos citados, ou busca por termos e palavras-chaves. Perfazendo “uma revisão de literatura com um objetivo claro, uma questão, uma abordagem de pesquisa definida, indicando critérios de inclusão e exclusão, produzindo uma avaliação qualitativa dos artigos” ([JESSON et al., 2011](#)).

A pluralidade de termos e o uso desses com distintas definições em diferentes áreas também dificulta esse tipo de análise. Nas ciências sociais, um dos primeiros registros do uso da RBS data de 1904, segundo [Galvão e Pereira \(2014\)](#). Nesse ano, o estatístico Karl Pearson elaborou, além da RBS, uma meta-análise, ou seja, somou e relacionou os resultados apresentados em diversas publicações, fazendo generalizações e conseguindo assim um resultado maior que a soma das partes.

A partir da década de 1950, passa-se a observar uma maior quantidade de trabalhos que adotam a RBS. Isso decorre, além das dificuldades apresentadas anteriormente, fruto do crescimento exponencial do número de publicações, da popularização de sistemas de tecnologia de informação e da criação de bases informatizadas que arquivam os trabalhos em formato digital, permitindo consultas mais amplas e ágeis.

A criação e aprimoramento de sistemas de buscas digitais permitiu o acesso e seleção de trabalhos com determinadas características dentro de uma base de dados com grande agilidade, independente de seu tamanho.

Atualmente, entre essas características, pode-se elencar os *strings* que são os elementos textuais, termos ou palavras-chave que se intenciona encontrar. O intervalo temporal, período, no qual se publicou o trabalho, podendo restringir a ‘idade’ do artigo encontrado. Pode-se limitar o idioma, facilitando a pesquisa em bases para quais o pesquisador tem habilidade de leitura.

Algumas bases de dados permitem selecionar trabalhos com características específicas, como a ‘revisão por pares’, elemento fundamental no desenvolvimento

atual da ciência, que propicia a validação de um trabalho por outros pesquisadores da área antes da publicação de um artigo, garantindo minimamente o caráter científico da publicação.

A amplitude da RBS permite encontrar uma série de elementos empíricos, tanto a favor como contrário à hipótese estabelecida. As RBS são abrangentes e não tendenciosas, pois permitem que o método de revisão seja explanado pelo pesquisador e replicado por outros, sendo, segundo [Tranfield et al. \(2003\)](#), um processo mais seguro, controlável, confiável e replicável. Essa amplitude e pluralidade permitem o confronto entre diferentes resultados, metodologias e construções teóricas que orbitam um tema.

String de busca é o elemento textual que será verificado pelo sistema, que retorna ao pesquisador a lista de trabalhos que contém esse elemento. O *string* é entendido pelo sistema como elemento de texto, podendo ser simples ou composto.

Quando composto, o *string* conterá obrigatoriamente operadores booleanos, operadores de truncamento ou de proximidade. Os operadores booleanos, também denominados operadores lógicos, sistematizados pelo matemático George Boole, são: 'E'; 'OU'; 'NÃO'. Esses operadores captam as necessidades elementares de conjuntos ([EBSCO, 2020](#)). Sendo, portanto, perfeitamente excludentes.

Para exemplificar: uma busca com duas palavras, se o uso de nenhum operador lógico, retorna como resultado os trabalhos que contêm uma ou ambas as palavras. Uma busca com o operador 'E' retorna como resultado os trabalhos que contêm ambas as palavras, simultaneamente. Uma busca com o operador 'OU' retorna como resultado os trabalhos que contêm apenas uma das palavras e os trabalhos que possuem ambas as palavras. Uma busca com o operador 'NÃO' retorna como resultado os trabalhos que contêm a primeira palavra do *string* e não possuem a segunda.

Os operadores de truncagem são utilizados para ampliar ou reduzir os resultados, melhorando a acurácia da busca, utilizando o radical da palavra buscada, ou restringindo as combinações.

Para exemplificar, um *string* pode ser composto pelo radical de uma palavra e o resultado será composto pelos trabalhos que contêm qualquer variação dessa palavra. Por exemplo, 'agric*' retornaria como resultado os trabalhos que contêm as palavras 'agricultura', 'agricultar', 'agricultor', 'agrícolas' e etc.

Para termos compostos, o *string* deve utilizar o operador de proximidade, esse evita que as palavras que compõem o termo sejam buscadas separadamente nos trabalhos, impondo o padrão de proximidade, ou seja, as palavras devem ser encontradas unidas e na ordem especificada. Por exemplo, o termo 'modelo gravitacional' é composto em ao ser buscado utilizando ambas entre aspas, o sistema retornará como resultado os trabalhos que as empregaram juntas e nessa ordem, não retornando os trabalhos

que as empregaram de outra forma, como, por exemplo, na frase: 'modelo econométrico gravitacional'.

Para a composição de um *string* é fundamental que o pesquisador explique sobre a estrutura de sua composição, uso de operadores de truncamento, ou o uso de operadores booleanos.

Essa busca, na qual o sistema identifica e retorna um conjunto de trabalhos com o *string* gera a primeira base de trabalhos, sendo passível de se aplicar ainda uma série de restrições para ampliar a acurácia da busca. Essa primeira base de trabalhos pode ser restringida pelo tipo de trabalho, livro, artigo, resenha e etc. Assim como pelo período de publicação.

Por fim, após restringir a busca por todos os elementos objetivos de interesse, que por serem objetivos podem ser inseridos em um sistema de busca, tem-se a base de trabalhos sobre a qual o pesquisador irá se debruçar. Até esse momento a descrição metodológica dos parâmetros adotados permite que outro pesquisador alcance os mesmos resultados.

Após encontrado o conjunto de trabalhos acerca do tema de interesse, é elaborada uma análise preliminar com o objetivo de selecionar aqueles que estão de fato no escopo intencionado. A partir desse ponto, a revisão retoma o caráter subjetivo, sendo juízo do pesquisador e, portanto, não podendo ser reproduzido por outro. Mesmo sendo de caráter subjetivo, o pesquisador deve explicar e buscar manter um padrão de análise e exclusão de trabalhos da base.

Nesta pesquisa, o mecanismo de busca utilizado foi o portal de periódicos CAPES. Esse sistema dá acesso a mais de 113 milhões de artigos científicos. No campo econômico são 202 bases de dados independentes, incluindo bases de acesso restrito a assinantes, as quais o acesso pode ser feito de forma gratuita por meio da 'Comunidade acadêmica federada - CAFE', no portal CAPES por qualquer acadêmico de universidade pública e pelos acadêmicos de faculdades privadas que façam parte da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP).

O acesso por meio da CAFE permite obter os textos para assinantes, ou seja, aqueles que não estão disponíveis gratuitamente em suas versões integrais ao público. Os custos são financiados pelas instituições participantes. Essa opção permite também o acesso remoto e foi fundamental nessa pesquisa realizada durante a pandemia da Covid-19.

O mecanismo de busca do portal de periódicos CAPES permite o uso de limitadores de busca além do *string* como ano de publicação, tipo de publicação, área da ciência, bases nacionais e internacionais, bases de acesso gratuito, se o trabalho é revisado por pares, qual gênero textual — livro, artigo, resenha, etc —, por idioma,

além de permitir o uso de operadores booleanos e de truncamento para compor *strings* compostos (CAPES, 2019).

Tabela 1 – Resultados da primeira etapa da RBS

<i>Strings</i> de busca	Número de trabalhos encontrados
“modelo gravitacional” NOT (agro* AND agri*)	70
(modelo gravitacional) AND agro*	54
(modelo gravitacional) AND agri*	58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira etapa desse processo foram utilizados os *strings* elencados na Tabela 1, que também mostra o número de trabalhos encontrados, sem limitação de idioma - sendo os termos buscados em português que podem retornar trabalhos nesses idiomas, assim como trabalhos em outros idiomas que tenham por exemplo resumos em português ou inglês -, sem limitação de data de publicação, podendo o termo ser encontrado em qualquer parte do texto. As restrições adotadas nessa etapa foram: a utilização de trabalhos revisados por pares, trabalhos do tipo artigo (*paper*), encontrados em bases classificadas com o tópico *economics*, evitando os trabalhos de outras ciências, como a física. O levantamento foi realizado na primeira quinzena de agosto de 2021.

Três *strings* foram utilizados com o objetivo de segregar a busca em dois grupos: o primeiro busca o uso do modelo gravitacional para temas gerais, excluindo os produtos agrícolas; o segundo, composto por dois *strings*, busca o uso do modelo especificamente para bens agrícolas.

Foram utilizados na composição dos termos de busca caracteres especiais, asterisco e o parêntesis. Os parêntesis indicam que as palavras contidas devem aparecer juntas. O parêntesis indica que a parte descrita é um radical, assim o sistema procura qualquer palavra que tenha até 10 caracteres à direita, neste caso. Assim, a busca feita inclui uma lista de variações com todas as palavras que têm como radical os termos ‘agro’ e ‘agric’, como as que são apresentadas na Tabela 2. A busca ignorou a acentuação, não tendo diferença entre ‘agric’ e ‘agríc’. Foi utilizado ‘agric’ e não apenas ‘agri’ para excluir alternativas como agridoce, que fogem do objeto deste trabalho.

Tabela 2 – Exemplos de variantes possíveis para os termos utilizados, na primeira etapa da RBS

<i>Strings</i> de busca	Possíveis alternativas com o radical descrito
-------------------------	---

Agro*	Agrônomo, agronomia, agrotóxico, agronegócio, agroquímica, agrobiologia, agroecologia, agropastoril, agropecuária, agropecuário, agroalimentar, agroambiental, agroclimático, agroindústria, agronométrico, agropecuárias, agropecuários, agroaçucareiro, agropecuarista.
Agric*	Agrícola, agrícolas, agricolita, agricultar, agricultor, agricultura, agricultável, agricultores, agrícola-pecuária, agrícola-pecuário, agriculturável, agrícola-indústria, agrícola-industrial.

Fonte: Elaborado pelo autor, segundo o dicionário Aurélio (FERREIRA, 2000).

A RBS é usualmente utilizada com enfoque teórico, na busca do ‘estado da arte’ sobre um tema. Aqui fora utilizada também para buscar a compreensão das formas e métodos de análises utilizados para esse tema, sobretudo quanto à metodologia do objeto de análise nesse trabalho.

Após a constituição das bases bibliográficas de trabalhos utilizando os *strings* elencados na Tabela 1, os trabalhos foram ordenados por grau de relevância. Nesse ordenamento o sistema considera as medidas de utilização do texto, sendo a mais importante o quantitativo de citações que o trabalho teve em outras publicações científicas e indexadas; considera também pesos diferentes para cada parte do documento, dando maior valor se o termo buscado foi localizado nos metadados, no título, no resumo ou no corpo do texto, respectivamente (CAPES, 2019).

Do conjunto de trabalhos localizados na primeira etapa, Tabela 1, foram transferidos para o ‘meu espaço’, ferramenta do portal CAPES que permite salvar a lista de trabalhos localizados e exportar os metadados para diversos formatos de arquivos. Os metadados foram então exportados na linguagem ‘bibtex’ utilizando a codificação UTF-8. Feito isso inicia-se a busca pelo texto completo para análise.

Utilizando a biblioteca ‘Bibliometrix’ para linguagem R, (2013) desenvolvida por Aria e Cuccurullo (2017), fora feita a análise bibliométrica preliminar. Nesta etapa, foi feita a união das bases resultante do levantamento das *strings* que continham os termos ‘agric’ e ‘agro’, utilizando a função ‘merge’ e excluindo os trabalhos repetidos, ficando assim com 87 trabalhos. As métricas sobre o portfólio são apresentadas junto à análise qualitativa na seção 4.1.

Por fim procedeu-se, então, uma análise completa dos trabalhos, avaliando o conteúdo, abordagens metodológicas e as explicações e justificativas para essas abordagens, buscando compreender o padrão adotado pelos diversos autores quanto aos tópicos abordados. Sobre esse portfólio, foi feita uma análise e síntese das informações, com foco nos achados e não apenas nas citações bibliográficas. Resumindo a substância da literatura e tirando conclusões dela (COOPER, 1985).

Assim, fora montado o portfólio bibliográfico utilizado nessa pesquisa. Após a

elaboração sistemática se dá a leitura e análise de toda a literatura, sendo discutido no capítulo 4.1 - Resultados da revisão de literatura e crítica, os elementos relevantes a essa pesquisa.

3.2 Teste empírico

Após o estudo da literatura que emprega o modelo gravitacional aos produtos agrícolas, fez-se o levantamento de alternativas metodológicas potencialmente úteis, e frente aos dados disponíveis elaborou-se sugestões de abordagens metodológicas. Esta seção consiste na descrição dessas abordagens e do método para verificar o comportamento dessas alternativas.

Para verificar o comportamento dessas alternativas, optou-se por utilizar os dados da exportação brasileira de açúcares, especificamente a classificação utilizada pelo MAPA: Nível 2. Açúcar de cana ou beterraba, que inclui açúcar bruto de cana-de-açúcar, açúcar bruto de beterraba e açúcares refinados. No SH e NMC é a classificação da Seção IV: Produtos Das Indústrias Alimentares; Bebidas, Líquidos Alcoólicos E Vinagres; Tabaco E Seus Sucedâneos Manufaturados; Capítulo 17: Açúcares e produtos de confeitaria; Sub-Seção 1701 - Açúcares de cana ou de beterraba e sacarose quimicamente pura, no estado sólido.

O valor das exportações anuais e o destino das exportações são informações disponíveis na plataforma AGROSTAT¹ - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro, do MAPA - Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Para compor o modelo gravitacional e verificar o comportamento das propostas metodológicas, outras informações foram necessárias, sendo elas: O Produto Interno Bruto (PIB) de cada nação, a população e o PIB *per capita*. Para essas informações a fonte foi a base de dados abertos do Banco Mundial².

Visando incluir variáveis que reflitam as especificidades do sistema de produção, buscou-se a extensão de terra arável disponível em cada nação por ano. A fonte desta informação foi o portal de estatísticas³ da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO). A definição de terra arável empregada é:

“terra com culturas temporárias (as áreas de cultivo duplo são contadas uma vez), prados temporários para roçada ou pastagem, terra para comer ou hortas e terras temporariamente em pousio. A terra abandonada como resultado do cultivo itinerante é excluída”⁴ (FAOSTAT, 2021).

A força de trabalho disponível teve como fonte a ILOSTAT, portal de informações da *International Labor Organization*, sendo definida como:

“A força de trabalho compreende pessoas com 15 anos ou mais que fornecem mão-de-obra para a produção de bens e serviços durante um determinado período. Inclui pessoas que estão atualmente empregadas e pessoas que estão desempregadas, mas à procura de trabalho, bem como pessoas à procura de primeiro emprego. No entanto, nem todos os que trabalham estão incluídos. Trabalhadores não remunerados, trabalhadores familiares e estudantes são frequentemente omitidos, e alguns países não contam com membros das forças armadas”⁵(ILOSTAT, 2021).

Características de geografia física e imutáveis ao longo do período analisado têm como fonte o *Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales* (CEPII)⁶, que disponibiliza um conjunto de informações desenhado exclusivamente para implementação do modelo gravitacional de comércio internacional. Desta base foram utilizadas a distância geodésica entre os países e a latitude do ponto central do país. O conjunto de informações coletadas, o código empregado, a unidade de mensuração e a fonte são resumidas no Quadro 1.

1 <<https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>

2 <<https://data.worldbank.org/>>

3 <<http://www.fao.org/faostat/en/>>

4 Tradução nossa.

5 Tradução nossa.

6 <<http://www.cepii.fr/>>

Quadro 1 – Variáveis empregadas, código unidade de mensuração e origem dos dados

Variável	Código	Unidade de mensuração	Fonte
Valor exportado	EXP	US\$	AGROSTAT
PIB	PIB	US\$	Word Bank
População	POP	Unidade	Word Bank
PIB <i>per capita</i>	PIB_pc	US\$	Word Bank
Terra Arável	ALand	Hectares	FAO
Força de trabalho	Labor	Unidade	ILOSTAT
Distância geodésica	Dist	KM	CEPII
Latitude	Lat	Graus	CEPII

Fonte: Elaborado pelo autor.

Partindo das informações disponíveis, construíram-se as variáveis necessárias à composição do modelo a ser testado neste trabalho. O total de terra arável foi dividido pelo número de trabalhadores de cada país, tendo assim o estoque do fator de produção terra em proporção do volume de trabalhadores. A construção desta variável segue os mesmos procedimentos empregados por [Baxter e Kouparitsas \(2005\)](#) ao compor um modelo gravitacional com dotação de fatores.

Diversos trabalhos empregam a distância física entre dois países. No entanto, essa abordagem tem ao menos dois pontos negativos. Primeiro, ela não pode ser empregada em modelos de efeitos fixos, visto que esses não aceitam variáveis que se mantenham constantes ao longo do período analisado. E, como apontado por [Polak \(1996\)](#) e discutido no referencial teórico deste trabalho, quando aplicada em modelos de efeitos aleatórios pode ocultar outras características constantes, porém não especificadas no modelo.

Assim, optou-se por empregar a distância relativa. Para esse fim foi necessário somar o PIB dos países para compor o PIB mundial, com essa variável pode-se calcular a participação relativa na economia mundial e então dividir a distância geodésica pela participação relativa, semelhante ao que fez [Polak \(1996\)](#).

Criou-se a variável fator terra tropical, sendo esta a que reflete as características edafoclimáticas da cana-de-açúcar, obtida dividindo o fator terra pelo módulo da latitude central do país. Sendo maior a latitude quanto mais distante da região tropical menor é o resultante desta fração. A criação desta variável segue os mesmos princípios do que fora feito por [Baxter e Kouparitsas \(2005\)](#), porém agrega o vetor latitude. A relação entre a latitude e a produção de cana-de-açúcar é especificada por [Rodrigues e Ross \(2020\)](#), melhor explicada ao se discutir os resultados e ilustrada na na Figura 6.

Poder-se-ia utilizar uma variável dicotômica, definindo como um os países

contidos na faixa tropical e zero os que estão fora da faixa tropical. No entanto, o emprego de variáveis dicotômicas diminui os graus de liberdade e aborda a característica como presente e ausente. Ao empregar a latitude como multiplicador cria-se uma variável contínua, que pode ser empregada na forma de logaritmo e que possui graus de intensidade. Assim há área agricultável passível de ser utilizada fora da faixa tropical, portanto a variável a atribui menor valor. Condições edafoclimáticas são complexas e não são entendidas nesse trabalho como presente e ausente, mas sim como sendo mais ou menos favoráveis a dado cultivar.

Para ilustrar a distribuição espacial proporcional das exportações brasileiras, construiu-se a variável consumo *per capita* de açúcar brasileiro, dividindo o total exportado pela população do país destino. O conjunto das variáveis construídas, o código empregado na base de dados e a forma de construção são resumidas no Quadro 2. O Apêndice C apresenta as estatísticas descritivas de todas as variáveis.

Quadro 2 – Variáveis construídas, Código e forma de construção

Variável	Código	Fórmula
PIB mundo	PIBM	ΣPIB_{ano}
Participação	PartR	$PIB_{pais.ano}/PIBM_{ano}$
relativa Distância	DistR	$Dist/PartR$
relativa Fator Terra	ELand	$ALand/Labor$
Latitude em módulo	Lat_p	$ Lat $
Fator Terra tropical	ELandT	$ELand/Lat_p$
Consumo <i>per capita</i> de açúcar brasileiro	Cons_pc	EXP/POP

Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações reunidas são referentes ao período 2011-2015, periodicidade anual. O período foi escolhido em função da disponibilidade de informações. As bases de dados de órgãos supranacionais são atualizadas com significativa defasagem em relação às bases nacionais. A base possui informações de 114 países que comercializaram com o Brasil no período, totalizando 570 observações.

Como era esperado, a base não é uniforme. Há dados faltantes para a variável exportações nos anos em que dado país não realizou comércio com o Brasil no período. Há também informações faltantes entre as variáveis explicativas, que não foram informadas pelos Estados aos órgãos supranacionais. O Quadro 3 lista todos os países analisados e aqueles que apresentaram algum dado faltante. Como discutido no referencial teórico, há alternativas para essas ausências de dados - elas serão tratadas a seguir na apresentação dos métodos de estimação adotados.

Quadro 3 – Países que importaram açúcar do Brasil no período 2011-2015

Africa Do Sul, Albânia, Alemanha, Angola, Antígua Barbuda, Arabia Saudita, Argélia, Argentina, Aruba, Austrália, Bangladesh, Barein, Bélgica, Benin, Bolívia, Bulgária, Cabo Verde, Camarões, Canada, Chile, China, Chipre, Cingapura, Colômbia, Comores, Congo, Rep.Dem.Do Congo, Coreia do Sul, Costa Do Marfim, Croácia, Dinamarca, Djibuti, Egito, Emir. Árabes Un., Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Filipinas, Finlândia, França, Gabão, Gambia, Gana, Geórgia, Grécia, Guine, Guine Equatorial, Guine-Bissau, Haiti, Holanda, Hong Kong, Iêmen, Índia, Indonésia, Irã, Iraque, Israel, Itália, Jamaica, Japão, Jordânia, Kiribati, Letônia, Líbano, Libéria, Líbia, Lituânia, Madagascar, Malásia, Malta, Marrocos, Maurício, Maurítânia, México, Myanmar, Moçambique, Montenegro, Namíbia, Nigéria, Nova Zelândia, Oma, Papua Nova Guine, Paquistão, Paraguai, Peru, Polônia, Portugal, Quênia, Reino Unido, Rep.Dominicana, Romênia, Rússia, Samoa, Samoa Americana, Senegal, Serra Leoa, Seychelles, Sri Lanka, Sudão, Suécia, Suíça, Suriname, Tailândia, Tanzânia, Togo, Tonga, Trinidad E Tobago, Tunísia, Turquia, Ucrânia, Uruguai, Uzbequistão, Vanuatu, Vietnã.

Apresentaram zero importação em algum ano do período analisado: Aruba, Barein, Bulgária, Comores, Congo, Djibuti, Eslovênia, Gabão, Jamaica, Jordânia, Kiribati, Letônia, Myanmar, Polônia, Paquistão, Seychelles, Senegal, Sudão, Suíça, Tailândia, Ucrânia, Uzbequistão, Vanuatu, Vietnã.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A abordagem empirista quantitativa adotada neste trabalho é a análise de regressão, que segundo [Hoffmann \(2016\)](#) é o método mais importante dentro da análise econométrica. O princípio do método é atribuído ao matemático Francis Galton (1822-1911). Serve para relacionar variáveis, atribuindo previamente causalidade por meio de uma função matemática, com a qual se pode estimar a magnitude da relação entre as variáveis independentes e a dependente, encontrando assim o valor médio para dada população.

Para que se tenha um parâmetro de comparação, foi elaborado um modelo com as variáveis básicas conforme descritas inicialmente por [Tinbergen \(1962\)](#), utilizando uma abordagem unilateral baseada na Equação 2.5 de [Isard \(1960\)](#). O objetivo não é verificar quais, ou analisar os determinantes dessas exportações, mas sim observar como essas alternativas metodológicas se comportam e apresentam significância estatística.

Este modelo de referência possui variáveis que se mantêm constantes no tempo, como a distância, sendo assim, pode-se estimar no formato *pooled* e MQO-EV. Para que se tenha também um modelo de referência estimado por MQO-EF, empregarse-á também a variável distância relativa.

O modelo de referência, ou modelo base, estima a equação 3.1, uma aborda-

gem unidirecional - exportações de 'a' para 'b' -, com as variáveis clássicas do modelo gravitacional - PIB e Distância -, empregando como estimador os Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). As variações empregadas terão como referencial este modelo.

O modelo econométrico construído para testar a relação objeto dessa pesquisa é de regressão múltipla, por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), linear (ou linearizável), uniequacional para dados em painel. Por MQO, que se mantidas as premissas, oferece o melhor estimador não viesado, expressos em termos observáveis (amostrais), com estimadores pontuais, permitindo a obtenção da reta de regressão (GUJARATI, 2006).

Outro método de estimação empregado foi o Poisson Pseudo Maximum Verossimilhança (PPMV), que tem crescente aplicação para estimar modelos gravitacionais por ser uma alternativa para minimizar o efeito da heterogeneidade entre os países. Também por resolver o problema de fluxo comercial zero ou dados faltantes, como sugerido por Silva e Tenreyro (2006) especificamente para lidar com fluxos zero em modelos linearizados por logaritmo. O PPMV é um variação log-link que estima um modelo linear generalizado (MLG) empregando uma distribuição quasi-poisson.

O emprego de dados em painel traz benefícios à análise ao ampliar o número de observações, combinando características da análise transversal e temporal. Gujarati e Porter (2011) listam as vantagens desta abordagem.

“Devido à heterogeneidade da análise entre indivíduos, empresas, estados, países, etc., esta técnica pode levar em conta estas variáveis individuais específicas;

Maior informação, maior variabilidade e menor colinearidade entre variáveis, devido à combinação de séries temporais e dados com corte transversal;

Dados em painel são mais adequados ao estudo da dinâmica da mudança (emprego, renda, etc);

Detecta e mede melhor os efeitos em comparação aos estudos transversais puros ou em séries temporais puras;

Possibilidade de modelos comportamentais mais complexos;

Minimização do viés decorrente da agregação de pessoas e/ou empresas nos grandes conjuntos.” (GUJARATI; PORTER, 2011, p. 588)

A abordagem empregada é baseada nas equações 2.9 e 2.5 de Tinbergen (1962) e Isard (1960), respectivamente. A primeira traz as variáveis principais do modelo e a segunda a perspectiva unilateral. Com essas duas características, foi composta a equação 3.1. Esta equação emprega a distância física e, portanto, não deve ser estimada para EF. Sendo assim, optou-se por estimar a equação 3.2 empregando a distância relativa. Esta pode ser estimada por empilhamento (*pooled*), EF e EV, esse conjunto compõe a base para comparação.

$$\log E_{ij} = a_1 \log Y_i + a_2 \log Y_j + a_3 \log D_{ij} + \mu \quad (3.1)$$

Onde:

E_{ij} : é o volume exportado de i para

j ; Y_i : é o PIB de i ;

Y_j : é o PIB de j ;

D_{ij} : é a distância de i até j ;

μ : é o termo de erro.

$$\log E_{ij} = a_1 \log Y_i + a_2 \log Y_j + a_3 \log Dr_{ij} + \mu \quad (3.2)$$

Onde:

E_{ij} : é o volume exportado de i para

j ; Y_i : é o PIB de i ;

Y_j : é o PIB de j ;

Dr_{ij} : é a distância relativa de i até j ;

μ : é o termo de erro.

A melhor alternativa para a forma de estimação entre Equações 3.1 e 3.2 será dada pelo conjunto de testes: Breuch-Pagan, Chow e Hausman. Os resultados são apresentados na seção seguinte.

A essa equação serão então adicionadas as variáveis construídas após a revisão bibliográfica, citadas no Quadro 2, compondo a equação 3.3. Com esta se fará a análise de como as variáveis se comportam estimando por MQO e PMLL. A estimação por PMLL empregou o pacote *gravity*⁷ em linguagem R, desenvolvido por Woelwer et al. (2020), seguindo o modelo apresentado por Silva e Tenreyro (2006), desenvolvido especificamente para o modelo gravitacional de comércio internacional,

⁷ A documentação do pacote esta disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/gravity/gravity.pdf>>

com valores zero na variável explicada, visando enquanto crítica a forma ‘convencional’ como se lida com heterocedasticidade em modelo log-linearizados.

$$\log E_{ij} = a_1 \log PIBpc_i + a_2 \log PIBpc_j + a_3 \log Dr_{ij} + a_4 \log ElandT_i + a_5 \log ElandT_j + \mu \quad (3.3)$$

Onde:

E_{ij} : é o volume exportado de i para

j ; $PIBpc_i$: é o PIB de i ;

$PIBpc_j$: é o PIB de j ;

Dr_{ij} : é a distância relativa de i até j ;

$ElandT_i$: é o fator terra tropical de i ;

$ElandT_j$: é o fator terra tropical de j ;

μ : é o termo de erro.

Quadro 4 – Países que importaram açúcar do Brasil em 2016

Angola, Albânia, Emir. Árabes Un., Argentina, Armênia, Antígua Barbuda, Austrália, Bélgica, Benin, Bangladesh, Bulgária, Barein, Bahamas, Bolívia, Canadá, Suíça, Chile, China, Costa Do Marfim, Camarões, Congo, Colômbia, Cabo Verde, Costa Rica, Alemanha, Djibuti, Dinamarca, Rep. Dominicana Argélia, Egito, Eritreia, Espanha, Estônia, Finlândia, Fiji, Franca, Reino Unido, Geórgia, Gana, Guine, Gâmbia, Guiné-Bissau, Guine Equatorial, Grécia, Granada, Guatemala, Hong Kong, Croácia, Haiti, Indonésia, Índia, Irã, Iraque, Israel, Itália, Jamaica, Jordânia, Japão, Quênia, Kiribati, Coreia do Sul, Líbano, Libéria, Líbia, Sri Lanka, Lituânia, Marrocos, Madagascar, México, Malta, Myanmar, Moçambique, Maurítânia, Maurício, Malásia, Namíbia, Nigéria, Nicarágua, Holanda, Nova Zelândia, Oma, Paquistão, Peru, Filipinas, Portugal, Paraguai, Polinésia Franc., Rússia, Arábia Saudita, Suda-o, Senegal, Cingapura, Serra Leoa, Somália, S. Tome E Princ., Suriname, Eslovênia, Síria, Togo, Tailândia, Trinidad E Tobago, Tunísia, Turquia, Tanzânia, Ucrânia, Uruguai, Estados Unidos, Uzbequistão, Venezuela, Vietnã, Remem, África Do Sul.

Removidos da análise por ausência de dados para as variáveis explicativas: Eritreia, Polinésia Francesa, Síria e Venezuela.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tanto a base de dados compilada quanto o *script* em linguagem R com todos os procedimentos implementados para a construção desses modelos estão disponíveis⁸

⁸ <<https://bit.ly/kasmin2021>>

para reprodução, conferência, crítica ou adaptação pelo leitor. Os resultados das estimativas são apresentados e discutidos na próxima seção.

Por fim, empregou-se as equações 3.1, 3.2 e 3.3 com os parâmetros estimados como explicado acima para os dados de exportações de 2016 - dados esses que não foram utilizados para compor as estimativas dos coeficiente -, e comparou-se os desvios das equações estimadas.

É importante salientar que o conjunto de países importadores em 2016 não é o mesmo empregado nas estimativas do coeficiente, buscou-se empregar todos os países do período 2011-2015 para as estimações e todos os países importadores em 2016 para fazer esta comparação. São exceções os países listados por ausência de informações. O Quadro 4 lista todos o países cujos dados foram empregados nesta etapa e também as exceções.

4 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das ações descritas na metodologia. Esse capítulo é dividido em duas partes principais: a primeira contém uma descrição das principais características distintivas encontradas na literatura levantada na RBS e de características relevantes da estratégia metodológica empregada na aplicação do modelo gravitacional. O objetivo é sistematizar e descrever os padrões quando houver. A segunda é dedicada aos resultados e discussões da análise empírica, que consistiu no teste da estratégia metodológica que visa representar as características edafoclimáticas de um cultivar.

4.1 Resultados da revisão de literatura e crítica

Neste capítulo é feita a análise qualitativa e o debate sobre o conteúdo encontrado na revisão de literatura, elaborada como descrito na parte 3. Buscou-se na literatura compreender como o modelo gravitacional é aplicado aos bens agrícolas. Os procedimentos metodológicos, suas justificativas e resultados encontrados nesses trabalhos serão sistematizados e dispostos em categorias que compõem a seção a seguir, junto ao debate pertinente.

Após a composição do portfólio bibliográfico como apresentado na parte 3, que resultou nos três conjuntos de trabalhos, um para cada *string* de busca, somou-se os resultados para os termos relacionados a produtos agrícolas¹, totalizando nessa temática 87 trabalhos não repetidos. Para o portfólio cuja temática não são bens agrícolas foram mantidos os 70 trabalhos. Dentre esses, todas as abordagens voltadas para bens agrícolas ou que pudessem ser empregadas ou adaptadas para bens agrícolas são debatidas nesta sequência.

Os trabalhos foram publicados entre 1996 e 2020, sendo o ápice de publicações no ano de 2015 com 11 trabalhos publicados. As cinco revistas que mais publicaram foram Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental; Revista De Economia Institucional; Economía Sociedad Y Territorio; Revista Latinoamericana De Estudios Urbano Regionales; e Investigaciones Geograficas.

Esse conjunto de revistas constitui, para a base formada, o *core* segundo a lei

¹ Os resultados dos *string*: modelo gravitacional AND agric* e modelo gravitacional AND agro* foram somados.

de Bradford (1934), que afirma "que se os periódicos em um campo forem classificados por número de artigos em três grupos, cada um com cerca de um terço de todos os artigos, então o número de periódicos em cada grupo será proporcional a $1 : n : n^2$ ". Embora autores como Pinheiro (1983) questionem a lei de Bradford, colocando o núcleo de referência em função da produtividade e não da especialização no tema, ou seja, destacando como referência o autor ou periódico de publicação que produz mais, e não necessariamente aquele que se especializa no assunto. As palavras-chave mais frequentes foram²: Economia; Política externa; Sistema de informações geográfica; Agricultura; e Análise espacial.

Para o conjunto de trabalhos cujo tema é o modelo gravitacional excluindo a temática agrícola, formado como descrito na parte 3, tem-se 70 trabalhos publicados entre 1993-2021, sendo o ápice de publicação o ano de 2013, com 8 trabalhos. O núcleo de publicação, segundo a lei de Bradford, é composto pelas revistas: Estudos Econômicos; Economía Sociedad y territorio; Economía Aplicada; GEO UERJ; e Revista Desafios. As palavras-chave mais empregadas foram: Comércio internacional; Modelo gravitacional; Integração regional; e Mercosul. Enquanto a aplicação do modelo para elementos agrícolas não apresentou nenhum autor que publicasse sobre o tema ao longo do tempo, o modelo gravitacional aplicado a outros produtos apresenta na base levantada um conjunto de autores que possuem mais de um artigo publicado do longo do tempo. Os autores e o ano de publicação podem ser observados no Apêndice B.

Esta é a primeira diferença qualitativa percebida na literatura empírica do modelo gravitacional quando dividida entre aplicada e não aplicada a bens agrícolas: não houve continuidade dos autores ao se dedicarem ao tema agro. Ou seja, o emprego do modelo gravitacional para bens agrícolas se mostra elemento pontual na produção dos autores encontrados nessa RBS.

Outras questões de caráter qualitativo são apresentadas na sequência. A RBS é um sistema de levantamento bibliográfico que permite ter acesso a um conjunto plural e não tendencioso de trabalhos que abordam o mesmo tema, sendo posterior a RBS feita uma análise qualitativa. Neste caso elenca-se aqui, brevemente, as características e achados relevantes desta literatura para o objeto desta pesquisa.

A aplicação do modelo gravitacional, considerando a base sem temática agrícola, é bastante plural. Os objetos de estudo variam entre o comércio de peças de arte e antiguidades, como no trabalho de Valenzuela-Klagges et al. (2017), até o fluxo migratório de narcotraficantes, como no trabalho de Miranda et al. (2016).

² Frequência somada para todos os idiomas, tradução nossa.

Miranda et al. (2016), por exemplo, busca compreender a migração inter-regional de narcofacções a partir do norte da Colômbia, tendo como unidade de análise os municípios e suas características enquanto atrativos ao fluxos que evadem do norte do país. Assim, o fluxo é “explicado pela atração de fatores econômicos, fatores de exclusão, força das instituições, dados demográficos por municípios e as ações de grupos armados”³, sendo esta última variável medida em número de registros oficiais, frequência. A variável ‘atratividade econômica’ utilizada pelo autor é a área de terra cultivada com *Erythroxylum coca*, base da produção de drogas e pode ser utilizada no financiamento de atividades ilícitas⁴. A pesquisa conclui que a área total medida em hectares dedicada ao plantio é um determinante estatisticamente significativo na atração desses grupos.

O trabalho de Miranda et al. (2016) fora levantado na base que não objetivava a temática agrícola, pois tem como objeto de análise a criminalidade, no entanto, utiliza com sucesso um elemento edafoclimático (o tipo de terra e o cultivar que ela pode produzir) para explicar a mobilidade de grupos criminosos.

Questionando a validade das ideias neoclássicas frente aos dados da realidade observada, Díaz España (2014) emprega a quantidade de terras férteis disponível - também um elemento edafoclimático - em cada país, tendo assim uma variável que reflete a disponibilidade e abundância relativa do fator terra. O autor emprega outras variáveis para incluir outros fatores de produção e conclui que a disponibilidade dos fatores é relevante para todos os níveis de tecnologia, sendo mais significativa para produtos de média e baixa intensidade tecnológica.

Salles et al. (2011, p. 577) pesquisaram os determinantes das exportações brasileiras de papel e celulose e encontram no coeficiente associado à distância um valor positivo, o que significaria dizer que há mais vantagens em exportar para países mais distantes do que para países mais próximos. “O coeficiente da variável distância entre regiões apresentou sinal positivo igual a 0,4199, ao contrário do que se esperava”. Os autores descrevem, mas não levantam hipóteses sobre os resultados inesperados, situação antagônica às relações preconizadas na teoria, que espera um maior custo de transporte associado a maior distância.

O mesmo decorreu com Pintor et al. (2015) ao avaliar os determinantes de importações de derivados da cana de açúcar. Em ambos os trabalhos os autores descrevem os resultados sem aventar hipótese que explique o sinal trocado em relação

³ Tradução nossa

⁴ O plantio da *Erythroxylum coca* é lícito na Colômbia.

à teoria. Ambos os casos são referentes a produtos agrícolas. Nenhum caso semelhante fora observado para manufaturas na literatura levantada nesta pesquisa.

[Bittencourt et al. \(2007\)](#) e [Serrano e Pinilla \(2016\)](#), este último ao abordar bens agrícolas, encontram um sinal avesso ao esperado para a fronteira comum, ou efeito adjacência. Países que fazem fronteira um com o outro deveriam ter fluxos comerciais maiores do que com pares com os quais não compartilham fronteiras. Para variáveis dicotômicas, como a empregada para o efeito fronteira, é preciso considerar os argumentos de [Silva e Tenreyro \(2006\)](#), o método de estimação do modelo pode levar a vieses nessas variáveis.

Com uma abordagem regional, [Arias-Gómez e Antosová \(2018\)](#) emprega o valor total das principais atividades agrícolas como variável explicativa, concluindo que cultivos de maior produtividade tendem a ser produzidos e comercializados nos grandes centros, sendo os de menor produtividade comercializados em um raio menor. Para empregar as diferentes atividades agrícolas como variável explicativa, o autor faz uma discussão sobre a distribuição espacial dessas e como este não é um elemento definido estritamente pelos produtores.

[Huanca \(2014\)](#) utiliza o modelo gravitacional para uma análise a nível municipal, cujo objeto é a densidade populacional da cidade sob análise. Chama atenção neste trabalho o modelo gravitacional ser utilizado para auxiliar a compor uma estimativa de crescimento da cidade em questão. Dessa forma, o autor justifica que o crescimento passado ampliou as diferenças entre a cidade polo e as demais, o que reforçará os fluxos migratórios no futuro.

[Golgher et al. \(2008\)](#) também aplica o modelo gravitacional para compreender fluxos migratórios, mas o faz utilizando dados bilaterais (fluxo de i para j e de j para i), os dados do Censo de 2010 no Brasil, e também utiliza as características socioeconômicas e criminalidade como variáveis explicativas.

Tendo processos migratórios como objeto apenas, [Silva \(2019\)](#) faz uma análise internacional. Em seu modelo emprega, além das variáveis clássicas, questões socioeconômicas como escolaridade média de cada país, nível de concentração de renda, taxa de homicídios e a necessidade de visto para entrar no país.

[Cunha et al. \(2013, p. 202\)](#) tem como objeto a participação internacional dos países Latino-Americanos frente ao crescimento das nações asiáticas, sobretudo a China, e utiliza em sua abordagem o volume de exportações de um país para explicar o volume de exportações de outro, tomando-os como concorrentes, sendo o

crescimento de um a causa de decrescimento de outro. Concluindo que “há evidências de que o padrão de produção e especialização comercial regressiva” dos países Latino-Americanos.

Roma et al. (2018) comparam o uso de equações gravitacionais ao sistema de aprendizagem de máquina⁵ para predição de viagens intermunicipais, trabalho que lembra os exemplos utilizados por Isard (1960) ao ilustrar suas ideias com o fluxo de pessoas entre regiões de uma cidade. Os autores concluem que o sistema de aprendizagem de máquina pode substituir satisfatoriamente o uso de equações gravitacionais e tem como vantagem não requerer suposições prévias.

Diversos acordos comerciais são avaliados utilizando o modelo gravitacional. Chama a atenção nessa literatura a peculiaridade do Sistema Generalizado de Preferências (GSP) da União Europeia (UE), que tem como objetivo favorecer a entrada de exportações de nações vulneráveis em desenvolvimento, e assim “ajudar os países em desenvolvimento a aliviar a pobreza e a criar empregos com base em valores e princípios internacionais, incluindo trabalho e direitos humanos” (COMISSÃO EUROPEIA, 2021).

Leite (2008) avalia o impacto do GSP sobre as exportações das nações andinas, com foco na Colômbia. A UE incluiu as nações andinas no GSP em 1990 para promover a substituição das culturas que servem à produção de drogas por outras culturas. Com isso, as exportações se tornariam uma alternativa econômica, diminuindo a propensão à produção de matéria-prima para as drogas. O GSP incluiu os países andinos em 1990, sendo revisado e modificado em 1995 e 2002. Segregando os períodos utilizando variáveis dicotômicas, o autor percebe a redução da importância do GSP ao longo do tempo, sendo o acordo subsequente menos relevante que o anterior nas exportações.

Questionando os benefícios das mudanças no padrão monetário mundial após o fim do acordo de Bretton Woods, Carmo e Bittencourt (2014) utilizam o modelo gravitacional não para explicar o volume transacionado, como é mais comum, mas sim a ‘extensão’ da pauta de exportações, inquerindo se a volatilidade cambial pode levar a uma especialização da pauta, medida em número menor de produtos distintos exportados. Os autores concluem que a volatilidade cambial tem relação negativa e estatisticamente significativa com a extensão da pauta de exportações. Bittencourt et al. (2007) faz um trabalho semelhante utilizando o câmbio real e focado no Mercosul.

Valenzuela-Klagges et al. (2017) e Larruscaim et al. (2020) utilizam variáveis

⁵ *Machine learning*

relacionadas ao ambiente institucional. [Valenzuela-Klagges et al. \(2017\)](#) emprega duas variáveis índice - uma para representar o ambiente de negócios e a facilidade de negociar; outra representa os direitos legais, definição e autonomia do direito de propriedade -, ambas calculadas pelo Banco Mundial. A NEI, como apontada por [Rocha Jr \(2004\)](#), dá sustentação teórica a essa abordagem. No entanto, é controverso a forma de mensuração e construção desse gênero de indicador. Na literatura levantada na pesquisa, apenas esses trabalhos abordaram questões legais e ambiente de negócios. [Souza e Burnquist \(2011a\)](#) debatem a complexidade burocrática e seus efeitos sobre o comércio internacional. Os autores criam um índice baseado no número de procedimentos necessários em um país para que se exporte ou importe um produto. A criação de índices próprios é um elemento muito presente na literatura pesquisada.

Ainda dentro do espectro de elementos institucionais, [Freitas et al. \(2015\)](#) avalia o impacto de medidas restritivas não tarifárias, utilizando como variável explicativa o número de notificações de medidas sanitárias e fitossanitárias e medidas técnicas.

[Fuenzalida-O'Shee e Valenzuela-Klagges \(2019\)](#) aplica o modelo gravitacional para um segmento da pauta de exportações, avaliando o volume bruto de manufaturas dos países do Cone Sul⁶. Chama a atenção o emprego de variáveis dicotômicas para segmentar as nações em dois grupos - os que têm saída para o Oceano Atlântico e os que têm saída para o Oceano Pacífico -, sendo que os autores também empregam a distância de forma clássica. A saída para o Oceano Pacífico é estatisticamente significativa e positivamente relacionada com as exportações de manufaturas. Os autores utilizam os dados descritivos para salientar que os portos na costa leste do continente têm um custo médio maior, e o acordo bilateral Chile-China não tem significância estatística, mas reforçam que isso não inviabiliza a hipótese da vantagem de um intercâmbio maior com as nações da Ásia e Oceania.

[Serrano e Pinilla \(2016\)](#) observam em suas estatísticas descritivas uma redução da participação internacional das exportações Sul-Americanas de produtos agrícolas. Ao questionar as causas, os autores utilizam a produtividade da mão de obra no setor, medida como a média de valor adicionado por trabalhador. Esta é a única variável utilizada pelos autores que se relaciona diretamente com o conjunto de produtos avaliados. As demais são variáveis clássicas utilizadas tanto para produtos agrícolas como outros.

Seis anos após sua publicação continua válida a assertiva de [Serrano e Pinilla \(2016, p. 138\)](#): “muito poucos artigos publicados enfocaram especificamente o comércio de produtos agrícolas”⁷. É importante ressaltar que o trabalho avalia o intervalo 1963-2000, sendo o período condicionado à disponibilidade de dados, fator que motivou as

escolhas dos autores em diversos trabalhos levantados nessa pesquisa.

Rodríguez e Dávalos (2017) implementam o modelo gravitacional para uma base de dados anterior à entrada do Peru na Parceria Transpacífica (TPP), visando estimar se ratificar a entrada do país no bloco poderia gerar ganhos no volume total transacionado entre o Peru e os demais países da TPP com os quais a nação ainda não possuía acordos bilaterais. Os autores implementam o modelo gravitacional presumindo que a entrada no acordo reduz as barreiras alfandegárias para o nível médio dos países com os quais o Peru tem acordo bilateral.

Todo os trabalhos, com exceção de Aldana et al. (2017, p. 171), utilizam como variável explicada as exportações ou o somatório de exportações e importações - fluxo de comércio. O autor, no entanto, utiliza as importações de manufaturas como variável explicada para discutir a “teoria de Linder que estabelece que o comércio de bens manufaturados será mais intensivo entre países de similar ingresso *per capita*”. O autor utiliza as importações sob a justificativa de que entre as exportações de nações em desenvolvimento há predominância de produtos não manufaturados.

Embora se tenha discutido no referencial teórico a questão do viés em relação aos dados faltantes ou a ausência de comércio entre dois países ao se analisar um produto específico, a ampla maioria dos autores opta por segmentar a base de dados avaliando apenas um conjunto de países que representa ampla e significativa participação do volume total. Freitas et al. (2015), Ribeiro e Ferro (2020) e Salles et al. (2011) são exemplos do uso dessa abordagem.

Tomando o Investimento Estrangeiro Direto (IED) como análogo à exportação de capital dos EUA, Navarro (2013) aplica o modelo gravitacional para entender seus determinantes. O autor utiliza uma matriz de ponderação de distância entre demais países, pressupondo um efeito *spill over* dos investimentos.

Tendo também como objeto de pesquisa o IED, Jorge e Castilho (2011) têm como foco o fluxo de investimentos intra bloco econômico. É distinta a aplicação da distância relativa, denominada pelos autores como ‘grau de isolamento’ que une a distância física ponderada pelo PIB. Essa abordagem foi iniciada por Polak (1996), como mencionado no referencial teórico, para evitar que variáveis dicotômicas absorvessem padrões não observáveis que de outro modo ampliariam os resíduos.

⁷ Tradução nossa

Uma abordagem distinta para investimento externo fora adotada por [Vasco et al. \(2014\)](#), que tem como objeto de estudo as Aquisições e Fusões entre empresas locais e internacionais.

O número de países utilizados nas diferentes amostras está muito aquém do número de países reconhecidos internacionalmente. A base mais citada como fonte de dados foi a *United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)*⁸, que reconhece 195 países. No entanto, a média de países avaliados nos modelos foi 47, sendo 12 o mínimo e 118 o máximo. Os autores fazem a seleção em função da existência dos dados, algo usual e compreensível. Contudo, essa prática exclui da análise nações por um padrão - a não realização de comércio internacional -, o que pode ser um viés de seleção. Ao buscar os determinantes do comércio unicamente nas nações que comercializam entre si, exclui-se a possibilidade de encontrar as características que inviabilizam o comércio, ou ao avaliar um conjunto de ações com um conjunto de características comuns tem-se uma distorção da magnitude dos coeficientes.

Mesmo quando se utiliza de estratégias metodológicas e modelos de estimação que visam resolver problemas como ausência de comércio entre um par de nações, os autores optam por reduzir a amostra sob a justificativa de obter mais consistência na base de dados. [Souza e Burnquist \(2011b\)](#) é um exemplo dessa abordagem.

Como se poderia esperar, a maior parte dos trabalhos encontrados nessa pesquisa tem como objeto de estudo as relações internacionais. No entanto, 10% utilizam o modelo gravitacional tal como sua primeira proposição, para a análise regional e entendimento da organização espacial dos mercados. O objeto de estudo mais frequente nesses casos foram os fluxos migratórios.

Dois trabalhos têm uma perspectiva mista dessas relações, avaliando o viés doméstico e o efeito fronteira. [Leusin Jr. e Azevedo \(2009\)](#) e [Grudtner e Gonçalves \(2012\)](#) avaliaram as exportações de uma Unidade Federativa (UF) para outras UFs brasileiros e para outros países, tendo assim em sua aplicação do modelo gravitacional tanto os fluxos regionais quanto internacionais.

Ampla maioria dos trabalhos, 96,3%, utilizam a perspectiva apontada por [Isard \(1960\)](#), como mostrado na equação 2.4, que busca compreender as relações comerciais de uma região para com diversas regiões, buscando nessas as características determinantes. Diferente da abordagem inicial de [Tinbergen \(1962\)](#), que para cada par de nação empregou um par de observações, sendo tanto o fluxo de i para j quanto de

⁸ <<https://unctad.org/statistics>>

j para *i*.

Torna-se canônico o uso de variáveis dicotômicas para o idioma, fronteira comum. Menos frequente é a aplicação das relações coloniais - relação essa que estava contida na proposição de [Tinbergen \(1962\)](#) -, nações ilhas ou países sem litoral. Enquanto as relações coloniais desvanecem ao longo do tempo nas análises, os blocos econômicos, os tratados multilaterais e bilaterais, e acordos preferenciais de comércio ganham destaque, sendo o objeto de estudo de 17,6% dos trabalhos que abordaram as relações internacionais. Mais do que o percentual referido empregou variáveis dicotômicas para representar APCs, no entanto, não tinham o acordo ou bloco como objeto central do estudo.

O fator China apresenta-se como objeto de estudo de crescente interesse, sendo observado inicialmente em 2007 e com uma frequência crescente ao longo do tempo - se não como objeto central do estudo, como um dos fatores explicativos. [Montenegro et al. \(2011\)](#), por exemplo, estimam e verificam como significativa a propensão ao aumento das exportações Latino-Americanas em relação à taxa de crescimento chinesa.

Distância entre as capitais medida em quilômetros do arco terrestre é a forma mais utilizada. No entanto, 2,5% trabalhos empregam em conjunto o custo de transporte por contêiner entre os países como *proxy* do custo de transporte. A aplicação desta variável pode ser interessante em perspectiva histórica, permitindo segregar outros fatores, que ficarão contidos na variável distância, da evolução tecnológica e logística associada ao custo de transporte por unidade padrão de volume, o contêiner.

Muitos trabalhos não encontram dados que representem seu objeto de pesquisa de forma direta ou indireta - *proxy* -, sendo necessário utilizar índices que relacionem informações existentes que possam então representar o objeto, essa abordagem é comum. No entanto, 12% utilizam índices próprios, elaborados pelo autor exclusivamente para a pesquisa. Esse fato é relevante e requer ressalvas, visto que a construção de qualquer indicador é passível de questionamento. Assim, os resultados destes trabalhos podem ser questionados tanto na aplicação do modelo gravitacional quanto na construção dos indicadores.

Não se percebe em relação ao método econométrico de estimação uma convergência de aplicação para a resolução das críticas apresentadas ao modelo gravitacional. Ampla maioria dos trabalhos - 69% - utilizam os Mínimos Quadrados Ordinários. Autores que trazem em sua metodologia as críticas utilizam outros métodos, sendo o

comportamento mais frequente nesse caso - 38% - o uso do MQO e outra forma de estimação, sendo então feita uma análise comparativa dos resultados.

O emprego de outros métodos de estimação é derivado das críticas que o MQO sofre por poder tornar-se enviesado na presença de elevada heterogeneidade entre as unidades e, de forma mais frequente, no modelo gravitacional, a presença de valor zero ou ausência de informação em uma observação.

Apenas 21% dos trabalhos utilizaram outros métodos de estimação, sendo o Poisson Pseudo Maxima Verossimilhança (PPMV) o mais frequente. “O uso do PMLL⁹ justifica-se por apresentar estimativas mais consistentes na presença de heterocedasticidade e de fluxos bilaterais com valores zero na base de dados” (SILVA, 2019, 237). Esta forma de estimação ganhou espaço depois de ser apresentada como alternativa para a situação de dados ausentes, ou fluxo comercial zero em um período. Quando se especifica um produto, e não o fluxo total de comércio, se torna mais recorrente a frequência de registros ausentes. Haq et al. (2012) discutem especificamente o caso dos fluxos comerciais zero quando se especifica um produto agrícola.

Como afirmado anteriormente, muitos autores utilizam como base de dados os principais parceiros comerciais, removendo da base de dados os valores zero ou ausentes. Com uma base que contenha apenas valores reais não negativos, pode-se empregar dados em painel, em especial o modelo de efeitos fixos. Há perda de capacidade explicativa ao utilizar o modelo de efeitos fixos, pois é necessário remover as variáveis que são constantes no tempo. No entanto, para comparar os fluxos antes e depois de um APC ou entrada em um bloco econômico, o modelo de efeitos fixo torna-se mais útil. Wooldridge (2016, p. 513) defende que o modelo “FE [efeitos fixos] quase sempre é mais convincente do que RE [efeitos aleatórios] para análise de políticas”.

O emprego de dados em painel do tipo *pooled*, com efeitos fixos (EF) e/ou efeitos aleatório (EA), está contido na estatística supracitada de emprego do MQO, visto que após a organização dos dados e criação de variáveis para o efeito fixo, quando necessário, o método de estimação é o MQO. O modelo de efeitos fixos é o de maior frequência observada e tem como justificativa a capacidade de absorver a heterogeneidade das unidades enquanto um fator não observado, captado pelo coeficiente de intercepto que representa a unidade de análise. Anderson e Wincoop (2001) sugerem a abordagem de efeitos fixos como alternativa de correção à má especificação. A abordagem de efeitos aleatórios visa captar elementos não observáveis, ou seja, características desconhecidas, não especificadas no modelo, mas que se mantenham constantes ao longo do tempo. Os efeitos fixos permitem controlar a heterogeneidade dos países, efeito de variáveis omitidas não observáveis ou difíceis de mensurar (como

os índices de resistência multilateral).

Especificamente para esse fim, os autores utilizam a abordagem de EF e EV para questionar o efeito fronteira, ou seja, a propensão que os agentes econômicos têm de evitar cruzar a fronteira. Desta forma, se favorece o comércio entre regiões mais distantes do próprio país em detrimento de regiões mais próximas em outro país, evitando custos de transação associados a diferentes idiomas, sistema jurídico distinto, tributos e burocracias diferentes.

A restrição ao uso de dados em painel para modelos que requerem a criação de variáveis dicotômicas para a estimação é a perda de graus de liberdade, fato que pode ser contornado pelo uso de um período de tempo maior, quando há disponibilidade de dados, o que aumenta a quantidade de observações. Outra restrição relevante é a impossibilidade de avaliar, gerar um coeficiente, para variáveis que não mudam ao longo do tempo em um painel com EF, o que faz um conjunto de trabalhos não ter um coeficiente e sinal algébrico que ilustre a magnitude e sentido da relação entre a distância e o fluxo comercial. Essa segunda restrição pode ser contornada pelo uso da distância relativa, como proposta por Polak (1996), que une em um multiplicador a distância geográfica e a participação no comércio internacional de cada país, sendo essa uma variável que muda ano a ano. Uma discussão mais extensa foi feita no referencial teórico deste trabalho.

Se, pelo menos não a contento, não foram encontrados na literatura trabalhos voltados especificamente para a aplicação do modelo gravitacional a bens agrícolas, este é um indício das dificuldades em promover um satisfatório ajuste do modelo para os fluxos que se quer compreender.

4.2 Resultados do teste empírico

O objetivo deste tópico é apresentar os resultados encontrados para um con-

junto de modelos que utilizou os dados das exportações brasileiras de açúcar. Este produto foi escolhido por ter sido estudado por [Pintor et al. \(2015\)](#) e [Mazzuchetti \(2014\)](#); ambos os trabalhos encontraram um sinal algébrico inverso ao preconizado na teoria para a variável distância, que aglutina as questões físicas que dificultam o comércio internacional. [Rodrigues e Ross \(2020, p. 15\)](#) discorrem sobre a importância das questões geográficas brasileiras na evolução do cultivo de cana-de-açúcar e dedica um tópico à “significância das condicionantes físicas”, o que reforça o entendimento de que se faz necessário inserir essas características para que se tenha uma análise completa.

É com base nesses três trabalhos acima citados, dois que encontraram variáveis com sinais trocados em relação ao esperado e o terceiro que relaciona a cana-de-açúcar às condições climáticas estritamente especificadas, é que se optou por empregar as exportações de açúcares para o teste empírico neste trabalho.

Utilizou-se de um modelo base, que serve de referência, e duas alternativas de estimação de equações que incluem variáveis que refletem de alguma forma as questões naturais associadas ao cultivo de cana-de-açúcar. Assim pode-se comparar se as alternativas agregam ou não à capacidade explicativa do modelo.

Ao pesquisar as variáveis relevantes para o comércio internacional de açúcar do Brasil, [Mazzuchetti \(2014\)](#) empregou o modelo gravitacional e também se deparou com um coeficiente associado à distância positivo, indicando uma maior propensão ao comércio entre países mais distantes. A autora discorre sobre o que chama de ‘contrassenso’ e oferece um conjunto de possíveis causas, entre elas variáveis associadas à disponibilidade do fator terra, e às condições climáticas que propiciam duas safras anuais.

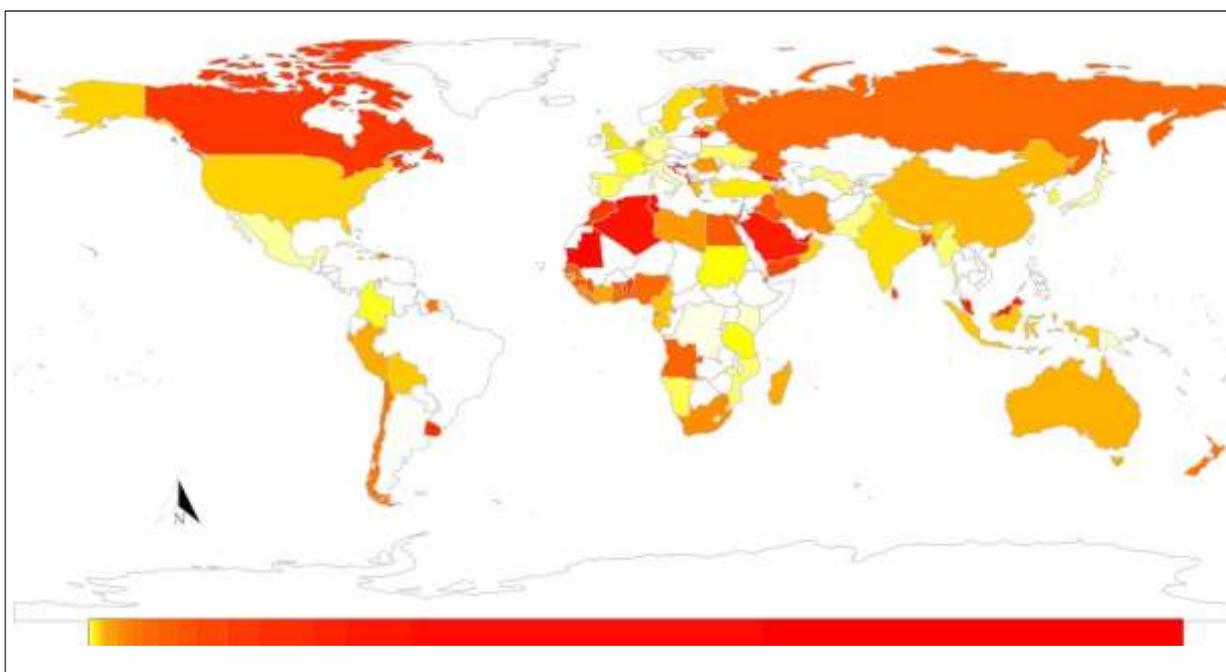
[O Brasil] é detentor de vantagens comparativas no que concerne à disponibilidade de terras para a cana-de-açúcar que, aliados aos fatores favoráveis como clima, solo e variedades de cana perfeitamente adaptáveis à realidade nacional, reproduz uma elevada produtividade e, por consequência, um custo de produção muito baixo vis-à-vis seus congêneres internacionais. ([MAZZUCHETTI, 2014, p. 88](#))

Justificativa que coaduna com a descrição de [Rodrigues e Ross \(2020, p. 13\)](#) “por ser uma planta de clima tropical, a faixa principal de sua distribuição geográfica está entre as latitudes 35° Norte e 35° Sul”. Assim, cogitou-se a possibilidade de empregar a latitude enquanto variável explicativa.

Para explorar essas afirmações, calculou-se o consumo *per capita* de açúcar brasileiro, proporção das exportações em função da população do país de destino. O resultado é observado na Figura 5. Para que se possa comparar com as afirmações de [Rodrigues e Ross \(2020\)](#), ilustrou-se a Figura 6 com a faixa climática que o autor afirma ser possível produzir o cultivar.

O Quadro 5 contém as estatísticas descritivas dos valores empregados na construção da Figura 5, e mostra que a nação com o menor consumo proporcional é a Argentina, sendo o maior consumo nos Emirados Árabes Unidos. As nações do norte da África e Oriente Médio, com amplas regiões desérticas, apresentam elevado consumo proporcional de açúcar brasileiro.

Figura 5 – Distribuição espacial do consumo mundial *per capita* de açúcar do Brasil em 2015 (dólares por habitante)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 5 – Estatística descritiva do consumo mundial *per capita* de açúcar do Brasil em 2015 (em dólares por habitante)

Min.	1st Qu.	Mediana	Média	3rd Qu.	Max.
0.00003	0.11252	0.65818	4.06394	4.20181	45.36302
Argentina					Emir. Árabes Un.

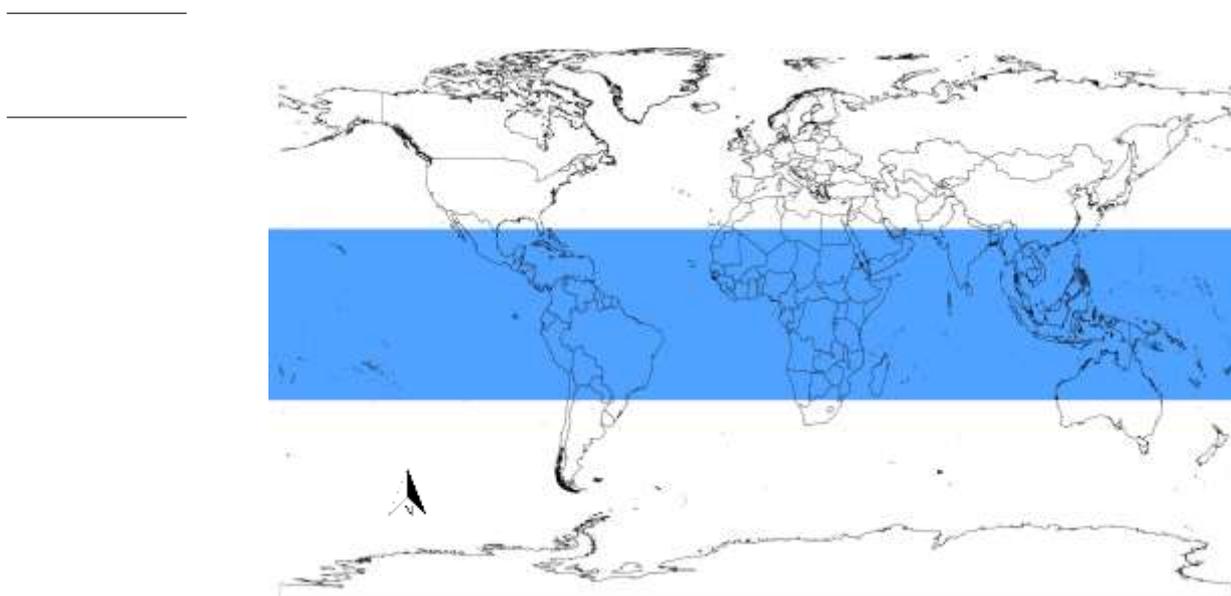
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Equação 3.1 foi estimada por MQO *pooled*, EF e EA. Os resultados são sumarizados na Tabela 3 e os *output* do sistema pode ser lidos no Anexo C. O painel de dados é não balanceado. Optou-se por empregar toda informação disponível, conseqüentemente remover apenas as observações para as quais não se tinha informações e não retirar o país de toda a análise. O modelo avaliou 114 países e tem 536 observações.

Ao observar o resultado da tríade de testes: Teste de Chow, Teste de Breusch-Pagan e Teste de Hausman, verifica-se que o modelo de EF tem o melhor desempenho, assim como recomendado por Gujarati (2006). Como esperado, o modelo gravitacional

de comércio internacional tende à estimação por efeitos fixos, que cria um conjunto de variáveis dicotômicas - uma para cada unidade, neste caso país -, a qual absorve a ampla heterogeneidade dos países, mantendo esses padrões como elementos não observados.

Figura 6 – Faixa na qual o clima atual permitiria, havendo característica no terreno, produzir cana-de-açúcar



Fonte: Elaborado pelo autor, segundo Rodrigues e Ross (2020).

Tabela 3 – Resultados da estimação da Equação 3.1

Variável	Modelo Pooled	MQO-EA	MQO-EF Robusto
Intercepto	-56,02* (24,2926)	-59,06*** (12,67)	-
PIB	0,4517*** (0,049)	0,4437*** (0,095)	-0,964 (0,5477)
PIB_br	2,1648* (0,85)	2,2961*** (0,4205)	2,3781*** (0,4189)
Dist	-0,09 (0,2229)	-0,1562 (0,4415)	-
R-Quadrado	0,1477	0,059	0,075
R-Quadrado Aj.	0,1429	0,054	0,017

Signif.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'

Fonte: Elaborado pelo autor.

O conjunto de variáveis dicotômicas criadas para este modelo, que pode ser observado no Anexo C, apresentou significância estatística para 45 das 114 nações estudadas. A inclusão das variáveis dicotômicas do modelo EF absorveu uma característica não observada que, quando removida, tornou a variável PIB do importador negativa. Nos demais modelos, que não possuem uma variável para identificar cada

nação, a relação entre o PIB e o volume importado permaneceu positiva.

A informação do PIB consolidado é para o mesmo período das exportações, embora desde o princípio se empregue nas equações do modelo gravitacional o PIB como fator que define as exportações - já que modelos de regressão pressupõem a relação de causalidade que testam -, é necessário salientar que a teoria econômica usualmente estabelece relação contrária, assim como foi citado no referencial teórico deste trabalho e exemplificado como a teoria da base exportadora de [North \(1955\)](#) e a demanda agregada de [Keynes \(2008\)](#). A relação esperada entre o PIB do exportador e o volume exportado é positiva e foi a relação encontrada para as três formas de estimação. O emprego do PIB do exportador pode gerar endogeneidade, desta forma opta-se pelo emprego do modelo com erros robustos.

Embora o teste de [Pesaran \(2015\)](#) seja mais indicado para séries longas, optou-se por realizar o teste para dependência transversal. Este rejeitou a hipótese nula para o modelo EA, ou seja, há indício de dependência entre os resíduos para a mesma unidade de análise - país - ao longo do tempo. Resultado que reforça a relevância da significância estatística das variáveis dicotômicas no modelo EF.

O teste de [Wooldridge \(2010\)](#) para efeitos não observáveis foi significativo quando aplicado às unidades, indício que se soma aos testes de Pessaran e ao número de nações para qual a variável dicotômica do modelo EF é significativa, reforçando a influência da heterogeneidade dos países na análise. Quando aplicado ao tempo, o teste de Wooldridge não foi significativo, não há efeitos não observáveis que se estende ao longo do período.

O modelo MQO-EF, por sua vez, apresentou não normalidade dos dados e empregou-se o modelo de erros robustos, com correção para normalidade e homoscedasticidade dos resíduos.

O modelo gravitacional de comércio internacional, constituído com suas variáveis clássicas para um gênero agrícola - açúcar - aplicado em sua perspectiva unilateral para as exportações brasileiras apresentou baixa capacidade explicativa e elevado número de contrapontos em seus testes de verificação das premissas estatísticas, assim como um sinal algébrico estatisticamente significativo divergente do esperado.

A característica da estimação com EF, de que toda característica fixa ao longo do tempo é absorvida pela variável dicotômica do país, não permite analisar o efeito da distância nesta forma de estimação. Visando contornar essa característica já esperada, incluiu-se na Equação 3.2 a variável distância relativa; tendo como um de seus componentes a participação relativa do país no PIB mundial a variável não é constante ao longo do tempo como definido por [Polak \(1996\)](#). Os resultados dessa variação do modelo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da estimação da Equação 3.2

Variável	Modelo	Pooled	MQO-EA	MQO-EF Robusto
Intercepto		-51,45* (25,7672)	-28,1951 (21,2)	-
PIB		0,3216 (0,2161)	-0,3231 (0,4214)	-14,6276*** (1,9743)
PIB_br		2,1637* (0,849)	2,2825*** (0,4192)	2,0382*** (0,3987)
DistR		-0,1324 (0,2226)	-0,7988. (0,4323)	-15,2146*** (2,1216)
R-Quadrado		0,148	0,063	0,1762
R-Quadrado Aj.		0,143	0,058	0,051
Signif.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao se observar novamente os resultados da tríade de testes: Teste de Chow, Teste de Breusch-Pagan e Teste de Hausman, verifica-se que o modelo de EF tem o melhor desempenho estatístico, mesmo estando em divergência com as pressuposições do modelo. A mudança na forma de mensurar a distância não alterou as relações percebidas entre os dois modelos, sendo as críticas feitas ao modelo anterior igualmente válidas para esta segunda abordagem.

O modelo *pooled* mantém o coeficiente associado ao PIB local como positivo, enquanto nos demais modelos o sinal é negativo. Nas estimativas para a Equação 3.1, apenas o modelo EF com erros robustos apresentou uma relação negativa entre o PIB do importador e o volume importado. Inserir a distância relativa trouxe significância para a variável no modelo EA, ao mesmo tempo em que alterou o sinal algébrico da relação PIB do importador e volume importado.

Nesta abordagem é possível avaliar o comportamento da distância nas três formas de estimação, o sinal algébrico que se apresenta é o esperado, distinto dos trabalhos citados anteriormente. A variável distância relativa apresenta significância tanto no modelo EA quanto EF. Nesta abordagem do modelo EF, 44 nações apresentam significância em suas variáveis dicotômicas que absorvem as características não observadas.

O teste de Pessaram para dependência transversal não apresentou significân-

cia para o modelo EA, novamente relaciona-se este resultado e a significância das variáveis dicotômicas do modelo EF, não há dependência ao longo do tempo, mas há indícios de que há características comuns não observadas entre as unidades de análise. Reforça essa ideia o fato do teste de Wooldridge para efeitos não observados ser significativo para as unidades, mas não ao longo do tempo quando aplicado ao modelo *pooled*.

Por fim, para testar o comportamento da inclusão de elementos naturais, condições edafoclimáticas, fez-se a estimativa da Equação 3.3 utilizando como método o MQO - em suas variações *pooled*, EF e EA - e PMLL, os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da estimação da Equação 3.3

Variável	Modelo	Pooled	MQO-EA	MQO-EF Robusto	PMLL
Intercepto		176,9* (78,3)	172,6*** (41,19)	-	1,58e01 (1,26e1)
PIB_pc		-0,1661 (0,2353)	-0,5655 (0,4498)	-9,3464*** (2,4458)	-3,4e-5*** (5,98e-6)
PIB_pc_br		0,636 (1,001)	0,9358. (0,5132)	1,7742** (0,6222)	1,18e-4. (7,04e-5)
POP		0,56** (0,214)	0,1887 (4,4147)	-7,8204* (3,0365)	4,11e-10. (2,09e-10)
DistR		-0,1125 (0,2186)	-0,5216 (0,4222)	-9,5261*** (2,4383)	-4,5e-1*** (5,11e-1)
ElandT		-0,024 (0,083)	-0,0918 (0,1456)	-0,193 (03,469)	-3,23 (2,34)
ElandT_br		51,1993* (21,2528)	46,07*** (10,9237)	12,1927 (14,279)	2,47e2 (3,85e2)
R-Quadrado		0,2463	0,128	0,1493	-
R-Quadrado Aj.		0,2377	0,1182	0,09	-
Signif.: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'					

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo PMLL tem um número maior de observações, pois não elimina aquelas cujo valor é zero, tendo empregado 570 observações e tendo 563 graus de liberdade, como era esperado. Os graus de liberdade perdidos dependem do número de iterações necessárias para promover o melhor ajuste do modelo. Diferente da estimação por MQO, o PMLL é uma variação de MLG que emprega uma aproximação por iteração¹⁰, ou seja, após estimado, o sistema promove variações visando um melhor ajuste - quanto maior o número de iterações mais

¹⁰ Iteração algébrica é o procedimento de resultado de uma equação, através de sucessivos cálculos, em que o objeto dessa é o produto daquela que a antecede.

graus de liberdade são perdidos. É importante salientar que o modelo estimado por PMLL não possui, como afirmam [Shepherd et al. \(2019\)](#), um indicador da capacidade explicativa do modelo como R-quadrado ou R-quadrado ajustado.

O objetivo da estimação por PMLL é superar o viés que o MQO apresenta para modelos log-linearizados na presença de heterogeneidade das unidades, que pode levar a heterocedasticidade dos resíduos, fato que não é corrigido ao adotar a estimação com erros robustos, “Em contraste, nosso [PMLL] método é robusto para os diferentes padrões de heterocedasticidade considerada nas simulações” ([SILVA; TENREYRO, 2006](#), p. 641).

Ao comparar os modelos, percebe-se que a variável PIB *per capita* do importador é invariavelmente negativa, sendo significativa nos modelos EF e PMLL, contrário ao que se espera inicialmente em um modelo gravitacional. O PIB *per capita* do exportador é positivo, fato que também se mantém em todas as formas de estimação, sendo significativo nos modelos EA e EF, condizente com o que se espera.

A variável população do importador é positiva nos modelos *pooled*, EA e PMLL, sendo significativa no modelo *pooled* e PMLL. Chama a atenção o fato de se tornar negativa e estatisticamente significativa no modelo EF, ou seja, a característica que promoveu essa mudança está contida nas variáveis dicotômicas específicas do modelo. Um padrão populacional deve ser objeto de investigação para as nações cujas variáveis apresentam significância estatística para que se possa aventar hipóteses explicativas para esse caso.

A distância relativa é negativa, como o esperado, e estatisticamente significativa com exceção do modelo EA. Alcançou um dos objetivos que é permitir a análise também no modelo EF, sendo assim comparável com as demais formas de estimação. No modelo PMLL é usual ter um coeficiente associado à distância menor que no modelo MQO, [Silva e Tenreyro \(2006\)](#) descrevem que esta é uma das características causadas pela heterocedasticidade no modelo MQO.

Esses resultados suscitam problemas de auto-colinearidade, endogeneidade, e heterocedasticidade. Todos os testes das premissas do modelo podem ser verificados no *script* ¹¹ empregado na construção dos modelos, assim como as alternativas metodológicas aventadas, que, no entanto, apresentaram-se menos robustas do que os modelos descritos neste trabalho.

¹¹ <<https://bit.ly/kasmin2021>>

Por fim, o fator terra tropical tem o sinal esperado em todos os modelos estimados: é positiva para o exportador e negativa para o importador. Isso ilustra que para o gênero agrícola açúcar do Brasil a demanda tende a ser maior nos países com menor área agricultável por trabalhador ponderada pela distância que essa área se encontra da faixa tropical. A constância no padrão é um fato desejado nas estimativas, porém constitui um indício delicado. A variável não é estatisticamente significativa em todos os modelos, sendo significativa para o exportador nos modelos *pooled* e EA.

Quadro 6 – Somatório do Erro ao quadrado ($\Sigma\mu^2$), Variância (σ^2) e desvio padrão (σ) do emprego dos modelos estimados para os dados de 2016 das exportações brasileiras de açúcares

Equação	Modelo	Pooled	MQO-EA	MQO-EF Robusto	PMLL
Equação 3.1	$\Sigma\mu^2$	109868,01	122445,45	15251,56	-
	σ^2	1,7445	1,7529	3,4851	
	σ	1,3208	1,3239	1,8668	
Equação 3.2	$\Sigma\mu^2$	92809,77	28452,51	6526395,58	-
	σ^2	1,7504	1,8649	15,4486	
	σ	1,323	1,3656	3,9304	
Equação 3.3	$\Sigma\mu^2$	1048821,72	998683,84	3174275,50	12897183,92
	σ^2	1,6624	1,7187	6,9469	9,0918
	σ	1,2893	1,311	2,6357	3,0152

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar as métricas de ajustamento dos modelos estimados quando aplicados para os dados do ano de 2016 no Quadro 6: Somatório do Erro ao quadrado ($\Sigma\mu^2$), Variância (σ^2) e desvio padrão (σ). Ao tomar o somatório dos desvios entre os valores estimados e observados, tem-se o menor valor para o modelo estimado por MQO com efeitos fixos e erros robustos¹² para a Equação 3.1, que empregou apenas as variáveis clássicas do modelo.

Para a Equação 3.2, o modelo de melhor ajuste foi o estimado por MQO com erros aleatórios. A Equação 3.3 apresentou um maior somatório de desvios ao quadrado do que as demais para todas as formas de estimação, sendo o maior para o estimador por PMLL. Esta forma de estimação tem se tornado mais frequente para modelos gravitacionais após o trabalho de [Baxter e Kouparitsas \(2005\)](#). Como dito anteriormente, essa forma de estimação se mostra mais confiável frente à existência de grande heterogeneidade entre as unidades. Assim, não se pode dizer que o maior somatório do erro é um fato ruim, mas que a significativa diferença entre este e

¹² Correção para autocorrelação e heterocedasticidade, sendo a segunda o elemento mais frequente o somatório dos demais pode ilustrar os vieses incorridos pelas demais formas de estimação.

Nenhuma das alternativas de estimação alcança as premissas estatísticas para modelos de regressão, não sendo, portanto, passíveis de serem utilizadas como instrumento explicativo. Os modelos estimados para erros robustos apresentam um maior desvio padrão para os estimadores. Todos os modelos apresentaram grande sensibilidade à mudanças, como foi o caso da substituição da distância em quilômetros para distância relativa. Espera-se, neste caso, uma mudança arrazoada nas magnitudes dos estimadores e manutenção do sinal algébrico quando se tem um modelo robusto.

A expectativa deste trabalho era testar uma abordagem metodológica acerca dos recursos naturais enquanto fatores de produção empregando, para isso, uma variação da variável fator terra semelhante ao que foi feito por [Baxter e Kouparitsas \(2005\)](#). No entanto, nem a versão básica do modelo gravitacional de comércio internacional apresenta robustez estatística para servir de base de comparação, nem sua ampliação - o modelo construído com a variável fator terra - apresenta robustez. Assim, esse trabalho soma-se aos demais citados que apontam problemas e criticam a aplicação do modelo, e passa a servir de base para questionar a aplicação do mesmo em sua aplicação às especificidades dos bens agrícolas.

5 Conclusão

Há que se discutir de forma mais ampla a aplicação do modelo gravitacional para o comércio internacional voltada aos bens agrícolas.

Nesse sentido, discorda-se dos trabalhos empíricos que afirmam que o modelo é um “*workhorse*”, sendo passível de aplicação a toda forma de fluxo econômico entre duas localidades. É preciso estabelecer as especificidades dos produtos e meios produtivos quando se aplica o modelo, e incluir as características distintivas do objeto de estudo no instrumento metodológico.

Percebe-se na revisão da literatura que o domínio da técnica necessária para a aplicação do modelo permite que autores o apliquem a diversos produtos manufaturados, ou testem a relevância de diversos acordos comerciais - fato ilustrado no Apêndice B. No entanto, é muito menor a aplicação aos fluxos de gêneros agrícolas. É preciso cuidado e serenidade no processo de modelagem das equações para que essas reflitam tanto as características dos mercados quanto dos produtos, tanto as características dos acordos comerciais quanto a disponibilidade dos meios de produção, sem incorrer em abandono das premissas estatísticas e da teoria econômica.

Não há uma dicotomia excludente entre o emprego de variáveis que demonstrem as características naturais, a dotação de fatores - reprodutíveis e não reprodutíveis -, aqueles que advêm de vantagens comparativas e das vantagens construídas. Os acordos comerciais somam-se posteriormente a esses fatores precedentes, são construídos em sociedades que conhecem suas condições e desejam ampliar suas vantagens, desenvolver-se. A revisão de literatura mostrou uma inclinação maior dos autores na busca do entendimento dos impactos dos acordos comerciais. Assim, é preciso continuar esse debate, incluir as variáveis que reflitam os mercados, os acordos comerciais, as barreiras tarifárias e não tarifárias, sem abandonar, como também se percebeu na revisão de literatura, as características intrínsecas dos produtos e processos produtivos. O emprego de variáveis dicotômicas para representar um amplo conjunto de características leva à perda de graus de liberdade e fragiliza o modelo.

A revisão sistemática de literatura mostrou que a aplicação do modelo gravitacional a bens agrícolas é restrita frente à sua aplicação a bens manufaturados ou ao somatório dos fluxos comerciais de todo gênero. Vários autores citados anteriormente obtêm resultados diversos do esperado, confiando na robustez dos modelos econométricos. Não questionam os resultados que divergem da teoria econômica, sendo que essa deveria ser a base para qualquer modelagem e qualquer divergência;

deveria levar a um aprofundamento da discussão, verificar se foi um fato isolado ou se constituíam padrão a ser entendido. O encontrar de divergências entre a teoria e a análise empírica deve iniciar um debate em busca da compreensão da divergência que culmine em correção da análise empírica, ou revisão e ampliação da teoria. O encontrar de divergências entre teoria e a análise empírica não pode tornar-se uma nota de rodapé.

Muitas implicações metodológicas surgem na literatura empírica, no entanto, essa se atém aos modelos canônicos sem promover adaptação necessária para as situações encontradas. A validade dos modelos canônicos é restrita às aplicações e conjunturas nas quais foram desenvolvidos, não se estendendo a toda e qualquer nova aplicação.

Fato recorrente na literatura é a necessidade do autor de definir o período de análise em função da disponibilidade de informação. A ausência de dados acaba por promover uma seleção sistemática não intencional, ou seja, pode ser a origem de um viés de seleção, ou viés de sobrevivência. Que características há em comum entre os países que não mantêm uma base de informações consistente e atualizada?

Esse fato tem como desdobramento o emprego de um número limitado de países em cada análise, significativamente menor do que o número de países reconhecidos. Mesmo as análises agrupadas, que estudam todo o fluxo comercial entre nações, incorrem em uma análise parcial, fruto da precariedade das informações.

Análises de produtos ou setores específicos enfrentam uma limitação ainda maior, seja fruto da ausência geral de dados ou da não comercialização deste produto específico por determinado país. Nesse caso, tem-se duas problemáticas: a primeira é a possibilidade de viés de seleção, pois pode haver características comuns entre esses países que ficam fora da análise; a segunda é a disparidade dos conjuntos de nações avaliadas, ou seja, para cada trabalho tem-se um conjunto de países, impossibilitando comparações entre períodos diferentes e, ainda mais, a comparação de setores ou produtos diferentes. A aplicação do modelo gravitacional para produtos distintos, mesmo que no mesmo período de análise, resulta em conjuntos distintos de países.

Tomando as assertivas anteriores como base, buscou-se alternativas metodológicas para abordar produtos agrícolas. Como exemplo para este estudo especificamente, foram utilizados dados do comércio de cana de açúcar, visando incluir na modelagem das equações variáveis que reflitam as características naturais, edafoclimáticas, necessárias para a produção da planta e, conseqüentemente, seus derivados.

A busca por instrumentos de análise para os fluxos comerciais de produtos agrícolas é premente para a realidade brasileira e a importância que o agronegócio

tem nesta economia. Buscar compreender as características dos importadores, tanto quanto as características dos concorrentes e daqueles que são importadores mas podem desenvolver os meios de produção é elemento central para a manutenção da competitividade do agro brasileiro.

A variável proposta neste trabalho teve como origem o modelo gravitacional com dotação de fatores e a construção de relatório técnicos, que visam ampliar a produtividade e reduzir os riscos da atividade agrícola, como é o exemplo do zoneamento agrícola de risco climático. Os elementos edafoclimáticos são fundamentais nessa atividade e devem fazer parte da análise econômica.

A variável criada nesta pesquisa apresentou o padrão esperado, o que constitui um indício de que seu emprego pode vir a se tornar viável. No entanto, o indício é frágil em proporção à robustez das estimativas. Uma crítica ou defesa contundente poderia ser erigida se houvesse uma base de comparação, mas, de forma surpreendente, nem mesmo as variáveis clássicas do modelo gravitacional para o comércio internacional estimada por MQO, o modo mais frequente observado na literatura, apresentou solidez ou capacidade explicativa.

Os modelos estimados apresentam baixa capacidade explicativa e ampla sensibilidade, ambas características indesejadas em um modelo econométrico. A mudança do método de estimação, de MQO para PMLL, não altera significativamente os resultados, nem a robustez do modelo. O emprego do PMLL contorna a questão de fluxo comercial igual a zero, mas ainda remanesce o viés de seleção ao abordar apenas os países com que se faz comércio, excluindo os demais e, conseqüentemente, oculta o padrão das características que evita o comércio entre as nações.

É preciso avançar nessa pesquisa, buscar o entendimento do por que destes resultados desviantes, e também de formas para adaptar o modelo. Assim, dois caminhos são apontados como proposta de continuação: o primeiro é a composição de um modelo bilateral para bens agrícolas. Espera-se que essa alternativa contorne o exclusão sistemática de países da análise. O segundo caminho é a ampliação de variáveis em um modelo de dotação de fatores, incluindo características dos sistemas de produção. Ambas as alternativas podem ser empregadas de forma proporcional, ou seja, importação por habitante, imagina-se que essa abordagem possa reduzir a heterogeneidade entre as unidades de análise, problema recorrentemente destacado na literatura. A hipótese aventada nesse trabalho não foi confirmada, ou seja, por enquanto o modelo não se mostra, a princípio, viável para aplicação a bens agrícolas, incorrendo em viés de seleção ao excluir sistematicamente países da análise, e sem incluir características dos países, dos mercados e dos fatores de produção.

Referências

- AITKEN, N. D. The effect of the eec and efta on european trade: A temporal cross-section analysis. *The American Economic Review*, American Economic Association, v. 63, n. 5, p. 881–892, 1973. ISSN 00028282. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1813911>>. Citado na página 56.
- ALDANA, W. O.; GARCIA, R. A. C.; VAZQUEZ, G. M. Comercio interregional de bienes manufacturados en los países de la alianza del pacífico desde la teoría de linder.(ensayo). *Revista Desafíos*, Universidad del Rosario, v. 29, n. 2, p. 169, 2017. ISSN 0124-4035. Citado na página 92.
- ANDERSON, J. A *Theoretical Foundation for the Gravity Equation*. *American Economic Review* 69: 106–16, 1979. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1802501>>. Citado na página 53.
- ANDERSON, J. E.; WINCOOP, E. V. Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle. *American Economic Review*, v. 93, n. 8079, p. 170–192, January 2001. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w8079>>. Citado 3 vezes nas páginas 53, 64 e 95.
- ANDERSON, J. E.; YOTOV, Y. V. The changing incidence of geography. 2008. Citado na página 63.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An r-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>>. Citado na página 77.
- ARIAS-GÓMEZ, H. Y.; ANTOSOVÁ, G. Spatial patterns of agriculture in boyacá. *Apuntes del CENES*, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, v. 37, n. 66, p. 203–237, 2018. ISSN 0120-3053. Disponível em: <<https://doaj.org/article/53a948c6cb224360a8aa283f3d0c56d4>>. Citado na página 89.
- AZEVEDO, A. F. Z. de. O efeito do mercosul sobre o comércio: Uma análise com o modelo gravitacional. *pesquisa e planejamento econômico | ppe*, v. 34, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 57 e 67.
- BACEN, B. *PROAGRO –PROGRAMA DE GARANTIDA ATIVIDADE AGROPECUÁRIA, Atualização nº 5*. [S.l.], 2020. Citado na página 38.
- BAXTER, M.; KOUPARITSAS, M. What determines bilateral trade flows? *SSRN Electronic Journal*, 02 2005. Citado 3 vezes nas páginas 79, 104 e 105.
- BERGEIJK, P. V. *The Gravity Model in International Trade*. first. [S.l.]: Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 46.
- BERNHOFEN, D. M.; BROWN, J. C. Testing the general validity of the heckscher-ohlin theorem. *American Economic Journal: Microeconomics*, v. 8, n. 4, p. 54–90, November

2016. Disponível em: <<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/mic.20130126>>. Citado na página 29.

BITTENCOURT, M. V. L.; LARSON, D. W.; THOMPSON, S. R. Impactos da volatilidade da taxa de câmbio no comércio setorial do mercosul. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP), v. 37, n. 4, p. 791–816, 2007. ISSN 1980-5357. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612007000400004&lng=en&tlng=en>. Citado 2 vezes nas páginas 89 e 90.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. Exigências edafoclimáticas. In: PEREIRA, F. do A.; CARNEIRO, M. R.; ANDRADE, L. M. de (Ed.). *A cultura da banana*. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Citado na página 36.

BOSKER, E. M.; GARRETSEN, H. Trade costs, market access, and economic geography. In: _____. *The Gravity Model in International Trade: Advances and Applications*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2010. p. 193–223. Citado na página 62.

BRADFORD, S. C. Sources of information on specific subjects. *Engineering: An Illustrated Weekly Journal*, n. 137, 1934. Citado na página 87.

BRUE, S. *História do pensamento econômico*. São Paulo - SP: Thomson Learning, 2006. (6). Citado na página 28.

CAMPOS, L. F. de; SCHNEIDER, M. B. Barreiras comerciais sobre a exportação agrícola paranaense: aplicação de um modelo gravitacional e reflexos da crise de 2008. *Revista Interdisciplinária de Estudos Agrários*, n. 47, 2017. Citado na página 64.

CAPES, C. *Guia de uso do Portal de Periódicos CAPES*. 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Portal_Periodicos_CAPES_Guia_2019_4_oficial.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 75 e 76.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação de koppen-geiger para o estado de goiás e do df. *ACTA Geográfica*, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014. DOI: 10.5654/actageo2014.0004.0016. Citado na página 37.

CARMO, A. S. S. D.; BITTENCOURT, M. V. L. O efeito da volatilidade da taxa de câmbio sobre o comércio internacional: uma investigação empírica sob a ótica da margem extensiva. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP), v. 44, n. 4, p. 815–845, 2014. ISSN 1980-5357. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612014000400006&lng=en&tlng=en>. Citado na página 90.

CHRISTALLER, W. *Central Places in Southern Germany*. New Jersey: Prentice-Hall, 1966. B. Citado 3 vezes nas páginas 18, 39 e 43.

COE, D. T.; HOFFMAISTER, A. W. North-south trade: Is africa unusual? *IMF Working Papers*, International Monetary Fund, USA, v. 1998, n. 094, p. A001, 1998. Disponível em: <<https://www.elibrary.imf.org/view/journals/001/1998/094/article-A001-en.xml>>. Citado na página 67.

COMEX STAT. *Comex Stat um sistema para consultas e extração de dados do comércio exterior brasileiro*. Ministério da Economia. 2021. Disponível em:

- <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Citado na página 22.
- COMISSÃO EUROPEIA. *Generalised Scheme of Preferences (GSP)*. 2021. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/trade/policy/countries-and-regions/development/generalised-scheme-of-preferences/>>. Citado na página 90.
- CONTINI, E.; ARAGÃO, A. *O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas*. 2020. Disponível em: <<https://agroemdia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Populacao-alimentada-pelo-Brasil.pdf>>. Citado na página 24.
- COOPER, H. M. *A Taxonomy of Literature Reviews*. [S.l.]: National Inst. of Education, 1985. Citado na página 77.
- CREASE, R. P. *Os dez mais belos experimentos científicos*. first. [S.l.]: Zahar, 2006. Citado na página 46.
- CUNHA, A. M.; BICHARA, J. D. S.; LELIS, M. T. C. America latina y el ascenso de china: una perspectiva desde brasil. *America Latina Hoy*, Ediciones Universidad de Salamanca, n. 65, p. 185, 2013. ISSN 1130-2887. Citado na página 89.
- DEN BUTTER, F. A. G.; MOSCH, R. H. J. *Trade, trust and transaction costs*. [S.l.]: Tinbergen Instituut (TI), 2003. (TI Discussion Paper, 03-082/3). Citado na página 63.
- DÍAZ ESPAÑA, V. A. ¿se cumple la teoría neoclásica del comercio internacional?: el caso de la economía colombiana entre 1980 y 2007? *Sociedad y Economía*, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas- Universidad del Valle, n. 27, p. 177–205, 2014. ISSN 1657-6357. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-63572014000200008&lng=en&tlng=en>. Citado na página 88.
- EBSCO, I. *Searching with Boolean Operators*. 2020. Disponível em: <https://connect.ebsco.com/s/article/Searching-with-Boolean-Operators?language=en_US>. Citado na página 73.
- ECONOMIA, G. F. do Brasil Ministério da. *PIB do setor agropecuário cresce 1,3% em 2019*. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impuestos-e-gestao-publica/2020/03/pib-do-setor-agropecuario-cresce-1-3-em-2019>>. Citado na página 24.
- ECONOMIA, R. Ministério da. *Classificacao fiscal de mercadorias ncm*. 2020. Disponível em: <<https://receita.economia.gov.br>>. Citado na página 26.
- EMBRAPA, E. *Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira*. [S.l.], 2018. ISBN 978-85-7035-799- 1. Citado na página 24.
- EMBRAPA, E. *Soluções tecnológicas: Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC*. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3933/zoneamento-agricola-de-risco-climatico---zarc>>. Citado na página 38.
- FAOSTAT. *Definitions and standards used in FAOSTAT*. 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Citado na página 78.
- FERREIRA, A. B. d. H. *Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa*. Rio de Janeiro - RJ: Nova Fronteira, 2000. Citado na página 76.

- FLAM, H.; FLANDERS, M. J. The young ohlin on the theory of "interregional and international trade". *Stockholm University, Institute for International Economic Studies, Seminar Papers*, 01 2000. Citado na página 29.
- FRANKEL, J. *Regional Trade Blocs in the World Economic System*. [S.l.: s.n.], 1997. Citado na página 56.
- FRANKEL, J. A.; STEIN, E.; WEI, S.-J. *Trading Blocs: The Natural, the Unnatural, and the Super-Natural*. [S.l.], 1994. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/p/ags/ucbewp/233217.html>>. Citado na página 69.
- FREITAS, C. O. de; GOMES, M. F. M.; ALMEIDA, F. M. de; SILVA, F. A. As medidas aplicadas aos acordos sps e tbt sobre as exportações brasileiras de fumo. *Redes (Santa Cruz do Sul, Brazil)*, Universidade de Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 3, p. 426–446, 2015. ISSN 1414-7106. Disponível em: <<https://doaj.org/article/ee8c4d81e6cb4b23906ab2dc1f56b29b>>. Citado 2 vezes nas páginas 91 e 92.
- FUENZALIDA-O'SHEE, D.; VALENZUELA-KLAGGES, B. Extractivismos versus exportaciones de manufacturas en sudamérica: un desafío pendiente. *Trimestre económico*, Fondo de Cultura Económica, v. 86, n. 341, p. 127–144, 2019. ISSN 0041-3011. Disponível em: <<https://doaj.org/article/fc67fb7615bd4bd78144ba5bc1cfce32>>. Citado na página 91.
- GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões bibliográficas sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, scielo, v. 23, p. 183–184, 03 2014. ISSN 1679-4974. Citado na página 72.
- GOLGHER, A. B.; ROSA, C. H.; JUNIOR, A. F. de A. Determinants of migration in brazil: regional polarization and poverty traps. *Papeles de población*, Universidad Autónoma del Estado de México, v. 14, n. 56, p. 135–171, 2008. ISSN 1405-7425. Disponível em: <<https://doaj.org/article/f8bf1b0c382c466f83b97f2796a9fc17>>. Citado na página 89.
- GROOT, H. de; LINDERS, G.-J.; RIETVELD, P.; SUBRAMANIAN, U. The institutional determinants of bilateral trade patterns. *Kyklos*, v. 57, n. 1, p. 103–123, 2004. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:kyklos:v:57:y:2004:i:1:p:103-123>>. Citado na página 64.
- GRUDTNER, V.; GONÇALVES, B. S. D. S. O efeito-fronteira: uma análise do comércio catarinense. *Textos de economia*, Universidade Federal de Santa Catarina, v. 15, n. 2, p. 67–84, 2012. ISSN 0103-6017. Disponível em: <<https://doaj.org/article/1ea23ddf84a84f1ab345fb1e2e012526>>. Citado na página 93.
- GUJARATI, D. N. *Econometria Básica*. fourth. [S.l.]: Elsevier, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 98.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria Básica Quinta Edição*. [S.l.]: AMGH Editora Ltda, 2011. Tradução Denise Durante, Mônica Rosemberg e Maria Lúcia G. L.Rosa. Citado na página 82.
- HAQ, Z. U.; MEILKE, K.; CRANFIELD, J. Selection bias in a gravity model of agrifood trade. *European Review of Agricultural Economics*, v. 40, n. 2, p. 331–360, 2012. Doi:10.1093/erae/jbs028. Citado 4 vezes nas páginas 66, 67, 68 e 95.

- HEAD, K.; MAYER, T. Illusory border effects distance mismeasurement inflates estimates of home bias in trade. In: *The Gravity Model in International Trade: Advances and Applications*. [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.cambridge.org/9780521196154>>. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 61.
- HECKMAN, J. Sample selection bias as a specification error. *Econometrica*, v. 47, p.153–161, 1979. Citado na página 67.
- HERTER, F. G.; WREGE, M. S.; TONIETTO, J.; FLORES, C. A. Adaptação edafoclimática. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Ed.). *Pessegueiro*. [S.l.]: Embrapa, 2014. ISBN 978-85-7035-371-9. Citado na página 36.
- HESS, D.; TASA, D. *McKnight's Physical Geography: A Landscape Appreciation*. [S.l.]: Pearson, 2016. v. 12. Citado na página 37.
- HICKS, J. R. The foundations of welfare economics. *The Economic Journal*, [Royal Economic Society, Wiley], v. 49, n. 196, p. 696–712, 1939. ISSN 00130133, 14680297. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2225023>>. Citado na página 55.
- HOFFMANN, A.; NACHTIGALL, G. R. Maçã : produção. In: NACHTIGALL, G. R. (Ed.). *Frutas do Brasil*. Brasília - DF: Embrapa Uva e Vinho; Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 38.
- HOFFMANN, R. *Análise de regressão. Uma introdução a econometria*. Piracicaba - São Paulo: Portal de livros abertos - USP, 2016. v. 4 Ed. DOI: 10.11606/9788592105709. Citado na página 81.
- HUANCA, A. C. Distritalización: una solución para el desarrollo de juliaca. *Espacio y Desarrollo*, Pontificia Universidad Católica del Perú, n. 26, p. 143, 2014. ISSN 1016-9148. Citado na página 89.
- ILOSTAT. *Statistics on the working-age population and labour force*. 2021. Disponível em: <<https://ilostat.ilo.org/topics/population-and-labour-force/>>. Citado na página 78.
- IPEA, I. de P. E. A. Carta de conjuntura número 48 — 3º trimestre de 2020. setembro 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/200706_cc_48_mercado_de_trabalho_a_evolucao_do_emprego_setorial_em_2020.pdf>. Citado na página 24.
- ISARD, W. *Methods of Regional Analysis; an Introduction to Regional Science*. [S.l.]: Cambridge: Published jointly by the Technology Press of the Massachusetts Institute of Technology and Wiley, 1960. New York. Citado 11 vezes nas páginas 18, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 81, 82, 90 e 93.
- IVERSEN, C. *Aspects of the Theory of International Capital Movements*. London - UK: Oxford University Press, 1935. v. 8. Citado na página 31.
- JESSON, J.; MATHESON, L.; LACEY, F. *Doing Your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques*. [S.l.]: Sage, 2011. Citado na página 72.
- JONES, R. A three-factor model in theory, trade and history. In: . [S.l.: s.n.], 1971. Citado na página 31.
- JORGE, C. de A.; CASTILHO, M. Impacto da integração regional sobre os fluxos mundiais de investimento direto estrangeiro the effects of regional integration on the world foreign direct investment flows. *Economia e sociedade (São Paulo, Brazil)*,

Universidade Estadual de Campinas, v. 20, n. 2, p. 365–395, 2011. ISSN 0104-0618. Disponível em: <https://doaj.org/article/ab90733eca51420082d94ca6a24e8ae2>. Citado na página 92.

KAPLAN, A. *A conduta na pesquisa: metodologia para as ciências do comportamento*. São Paulo - SP: Herder, 1972. Citado na página 71.

KEYNES, J. M. *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. [S.l.]: Classic House Books, 2008. Citado na página 100.

KOPP, A. International factor movements and trade: The basic issues. *Kiel Institute for the World Economy (IfW) Working Paper*, n. 662, 1994. URL: <http://hdl.handle.net/10419/47130>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 35.

KRUGMAN, P. R. *Internacionalismo Pop*. [S.l.]: Grupo Editorial Norma, 1999. Bernardo Recaman Santos (Tradutor). Citado na página 35.

KRUGMAN, P. R. *Was it all in ohlin?* 1999. Disponível em: <http://web.mit.edu/krugman/www/ohlin.html>. Citado na página 30.

LARRUSCAIM, I. de M.; CORONEL, D. A.; FEISTEL, P. R.; FREITAS, C. A. de. Impacto da facilitação de comércio no mercosul em comparação à união europeia: Uma análise através do modelo gravitacional. *Revista UNEMAT de Contabilidade*, Universidade do Estado do Mato Grosso, v. 9, n. 17, 2020. ISSN 2316-8072. Disponível em: <https://doaj.org/article/d96fa291bfa74b74b83708fa89d7bbc4>. Citado na página 90.

LEAMER, E. E.; STERN, R. M. *Quantitative International Economics*. Chicago: Aldine Publishing Company, 1970. Citado na página 52.

LEITE, J. C. The determinants of colombian exports: An empirical analysis using the gravity model. *Desarrollo y Sociedad*, Universidad de los Andes, n. 61, p. 165–205, 2008. ISSN 0120-3584. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35842008000100005&lng=en&tlng=en. Citado na página 90.

LEUSIN Jr., S.; AZEVEDO, A. F. Z. de. O efeito fronteira das regiões brasileiras: Uma aplicação do modelo gravitacional. *Revista de Economia Contemporanea*, v. 13, n. 2, p. 229–258, 2009. ISSN 14159848. Citado na página 93.

LINDERS, G. *Intangible Barriers to Trade: The Impact of Institutions, Culture and Distance on Patterns of Trade*. Tese (Doutorado) — Vrije Universiteit Amsterdam, 2006. Naam instelling promotie: VU Vrije Universiteit Naam instelling onderzoek: VU Vrije Universiteit. Disponível em: <https://research.vu.nl/en/publications/intangible-barriers-to-trade-the-impact-of-institutions-culture-a>. Citado na página 20.

LINNEMANN, H. *An Econometric Study of International Trade Flows*. Amsterdam: North-Holland.: P. 234, 1966. Citado 3 vezes nas páginas 44, 45 e 59.

LOSCH, A. *The economics of location*. Connecticut: Yale University Press, 1954. Citado na página 43.

- MAPA, M. d. A. P. e. A. *Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)*. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola>>. Citado na página 22.
- MAZZUCHETTI, R. N. *O comércio internacional do açúcar : uma análise utilizando o método gravitacional*. Tese (Tese de doutorado.) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Campus de Toledo. Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Toledo - PR, 2014. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2176/1/RoselisNMazzuchetti.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 96 e 97.
- MCCALLUM, J. National borders matter: Canada-u.s. regional trade patterns. *The American Economic Review*, American Economic Association, v. 85, n. 3, p. 615–623, 1995. ISSN 00028282. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2118191>>. Citado na página 60.
- MDIC, M. da Indústria comércio exterior e serviços. *Portal para acesso às estatísticas de comércio exterior do Brasil*. 2021. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Citado na página 24.
- MIRANDA, M. de J. Z.; LÓPEZ, D. J. M.; RAMÍREZ, J. A. C.; ALVARADO, W. A. G. Determinantes del desplazamiento forzoso en norte de santander 2008-2013. determinants of forced displacement in norte de santander, 2008-2013. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, Dirección Nacional de Escuelas de la Policía Nacional de Colombia, Bogota, v. 8, n. 1, p. 23–32, 2016. ISSN 2145549X. Disponível em: <<http://search.proquest.com/docview/1999164288/>>. Citado 2 vezes nas páginas 87 e 88.
- MOHLMANN, J.; EDERVEEN, S.; GROOT, H. L. de; LINDERS, G.-J. M. *Intangible Barriers to International Trade: A Sectoral Approach*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/p/tin/wpaper/20090021.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 64.
- MONTENEGRO, C. E.; PEREIRA, M.; SOLOAGA, I. El efecto de china en el comercio internacional de america latina. *Estudios de Economía*, Universidad de Chile, v. 38, n. 2, p. 341, 2011. ISSN 0304-2758. Citado na página 94.
- MUNDELL, R. A. *International Trade and Factor Mobility*. *The American Economic Review*, 1957. v. 47. (3, v. 47). Disponível em: <https://pages.ucsd.edu/~jlbroz/Courses/PS245/handouts/mundell_AER1957.pdf>. Citado na página 30.
- MUSSA, M. *Tariffs and the Distribution of Income: The Importance of Factor Specificity, Substitutability, and Intensity in the Short and Long Run*. [S.l.]: *Journal of Political Economy*, 1974. v. 82. 1191–1203 p. (6, v. 82). Citado na página 34.
- NAVARRO, D. S. Determinantes de los flujos de inversión extranjera directa estadounidense a través de un modelo gravitacional con componente espacial: evidencia para algunos países latinoamericanos. *Ensayos sobre POLÍTICA ECONÓMICA*, Banco de la República, v. 31, n. 72, p. 35–50, 2013. ISSN 0120-4483. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-44832013000300003&lng=en&tlng=en>. Citado na página 92.

NEWTON, S. I. *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural: Livro I*. São Paulo - SP: Edusp; 1ª edição, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 45, 46 e 57.

NORTH, D. *Location Theory and Regional Economic Growth*. [S.l.]: Journal of Political Economy, 1955. v. 63, 243. Citado na página 100.

OHLIN, B. *Interregional and International Trade*. [S.l.]: Harvard University Press, 1967. ISBN-10: 0674460006. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 34.

OLIVEIRA, O. F. D.; FERRERA DE LIMA, J. *Desenvolvimento Regional Diferenciado No Seridó Brasileiro*. [S.l.]: Revista de Economia Regional Urbana e do Trabalho, 2021.

v. 10. Citado na página 40.

ONU, O. das N. U. *UNITED NATIONS PUBLICATION ST/ESA/STAT/SER.M/4/Rev.4*. New York: Printed in United Nations, 2008. Citado na página 24.

PAUDEL, R. C.; BURKE, P. J. Exchange rate policy and export performance in a landlocked developing country: The case of nepal. *Journal of Asian Economics*, v. 38, p. 55–63, 2015. ISSN 1049-0078. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049007815000354>>. Citado na página 60.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the koppen-geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 11, p. 1633–1644, 2007. www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/. Citado na página 37.

PERROUX, F. *A New Concept of Development*. [S.l.]: Routledge, 1983. ISBN 9781138880856. Citado na página 55.

PESARAN, M. H. *Testing weak cross-sectional dependence in large panels*. [S.l.]: Econometric Reviews, 2015. v. 34. (6-10, v. 34). Citado na página 100.

PIANI, G.; KUME, H. *Texto para discussão nº 749 fluxos bilaterais de comércio e blocos regionais: uma aplicação do modelo gravitacional*. [S.l.], 2000. Citado na página 63.

PINHEIRO, L. V. R. Lei de bradford: uma reformulação conceitual. *Ci. Inf. Brasília*, v. 12, n. 2, p. 59–80, 1983. Citado na página 87.

PINTOR, G. Zanquetta de; PINTOR, E.; BAUERMANN, B.; AGUILAR, C.; SHIKIDA, P. Análise dos determinantes das exportações brasileiras do complexo sucroalcooleiro entre 2002 e 2012 através do modelo gravitacional. *A Economia em Revista - AERE*, v. 23, p. 1–16, 07 2015. Citado 2 vezes nas páginas 88 e 96.

POLAK, J. *Is APEC a Natural Region Trading Bloc? A Critique of the gravity model of international trade*. Cambridge: Oxford BlackWell Publishers, 1996. Citado 6 vezes nas páginas 69, 70, 79, 92, 96 e 101.

POLANYI, K. *A grande transformação: As origens de nossa época*. second. [S.l.]: Editora Campus, 2000. Tradução: Fanny Wrobel. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 34.

PREWO, W. E. Integration effects in the EEC : An attempt at quantification in a general equilibrium framework. *European Economic Review*, v. 5, n. 4, p. 379–405, December 1974. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/eecrev/v5y1974i4p379-405.html>>.

Citado na página 57.

R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Citado na página 77.

RIBEIRO, S.; FERRO, M. J. Comunicação verbal: Um fator essencial no comércio internacional. *Janus.net*, Universidade Autónoma de Lisboa, v. 11, n. 1, p. 32–43, 2020. ISSN 1647-7251. Disponível em: <<https://doaj.org/article/92e9d86712164af5873e7720519ef906>>. Citado na página 92.

RICARDO, D. *Princípios de economia política e tributação*. [S.l.]: Editora Nova Cultura, 1996. Tradução de Paulo Henrique Ribeiro Sandroni, título original: On the Principles of Political Economy and Taxation. Citado 4 vezes nas páginas 28, 29, 30 e 52.

ROCHA Jr, W. F. d. A nova economia institucional revisitada. *Revista de Economia e Administração*, v. 03, p. 301–319, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 61, 63 e 91.

RODRIGUES, G. S. de S. C.; ROSS, J. L. S. *A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental*. Uberlândia - MG: EDUFU, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 79, 96, 97 e 99.

RODRÍGUEZ, G.; DÁVALOS, J. El potencial de comercio del acuerdo trans-pacífico para el Perú, un enfoque gravitacional (the trans-pacific partnership agreement (tpa) trade potential for Peru, a gravity model approach). *GECONTEC*, Universidad Pablo de Olavide, v. 5, n. 2, p. 93–107, 2017. ISSN 2255-5684.

Disponível em:

<<https://doaj.org/article/628bba2789fd4a9ab974876774287319>>. Citado na página 92.

ROMA, A. D. de S.; PITOMBO, C. S.; GUIMARÃES, H. S.; COSTA, L. H. M. Análise de desempenho de algoritmos de aprendizagem de máquinas para análise desagregada de viagens intermunicipais. *Transportes (Rio de Janeiro)*, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), v. 26, n. 3, 2018. ISSN TRANSPORTES. Disponível em:

<<https://doaj.org/article/2bc484a34172433fa7c21d09595f2a73>>.

Citado na página 90.

SÁ PORTO, P. d. *Mercosul and regional development in Brazil: a gravity model approach*. São Paulo: Estudos econômicos, 2002. v. 32. (01, v. 32). Citado 3 vezes nas páginas 54, 68 e 69.

SALLES, T. T.; SILVA, M. L. D.; SOARES, N. S.; MORAES, A. C. d. Exportação brasileira de papel e celulose: sua dinâmica pela equação gravitacional. *Revista Árvore*, Sociedade de Investigações Florestais, v. 35, n. 3, p. 573–580, 2011. ISSN 1806-9088. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000300020&lng=en&tlng=en>. Citado 2 vezes nas páginas 88 e 92.

SAMUELSON, P. A. Ohlin was right. *The Swedish Journal of Economics*, v. 73, n. 4, p. 365–384, 1971. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3439219>>. Citado 5 vezes nas páginas 31, 32, 33, 34 e 35.

SERRANO, R.; PINILLA, V. The declining role of Latin America in global agricultural trade, 1963–2000. Cambridge University Press, v. 48, n. 1, p. 115–146, 2016. ISSN 0022-216X. Citado 2 vezes nas páginas 89 e 91.

SHEPHERD, B.; DOYTCHINOVA, H. S.; KRAVCHENKO, A. *The gravity model of international trade: a user guide [R version]*. United Nations ESCAP., 2019. Disponível em: <https://www.unescap.org/sites/default/files/Gravity-model-in-R_1.pdf>. Citado na

página 103.

SIEBERT, H. *The paradigm of locational competition*. Kiel Institute for the World Economy (IfW), 2000. (367). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/2472>>. Citado na página 35.

SILVA FILHO, E. B. d. *A teoria da firma e a abordagem dos custos de transação: elementos para uma crítica institucionalista*. first. [S.l.]: PESQUISA & DEBATE, 2006. v. 17. (2 (30) pp. 259-277, v. 17). Citado na página 63.

SILVA, J. S.; TENREYRO, S. The log of gravity. *The Review of Economics and Statistics*, v. 88, n. 4, p. 641–658, 2006. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:tpr:restat:v:88:y:2006:i:4:p:641-658>>. Citado 6 vezes nas páginas 67, 68, 82, 83, 89 e 103.

SILVA, S. P. L. A gravity model analysis of determinants of international migration from colombia 1990-2015. *Territorios*, Universidad del Rosario, n. 41, p. 69–100, 2019. ISSN 01238418. Citado 3 vezes nas páginas 68, 89 e 95.

SMITH, A. *A riqueza das nações: Investigação sobre sua natureza e suas causas*. São Paulo - SP: Editora Nova Cultural Ltda., 1996. I. ISBN 85-351-0827-0. Citado na página 29.

SOUZA, M. J. P. d.; BURNQUIST, H. L. Facilitação de comércio e impactos sobre o comércio bilateral. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP), v. 41, n. 1, p. 91–118, 2011. ISSN 1980-5357. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612011000100004&lng=en&tlng=en>. Citado na página 91.

SOUZA, M. J. P. de; BURNQUIST, H. L. Impactos da facilitação de comércio: Evidências do modelo gravitacional. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 49, n. 4, p. 909–940, 2011. ISSN 01032003. Citado na página 93.

TINBERGEN, J. *Shaping the World Economy; Suggestions for an International Economic Policy*. T, 1962. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1765/16826>>. Citado 16 vezes nas páginas 18, 19, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 56, 59, 81, 82, 93 e 94.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review;. *British Journal of Management*, v. 14, p. 207 – 222, 2003. Citado na página 73.

VALENZUELA-KLAGGES, B.; MEZA-GUZMÁN, J.; FUENZALIDA-O'SHEE, D.; VALENZUELA-KLAGGES, I. Exportación de objetos de arte, editorial e industria gráfica: Perspectiva para argentina y chile. *Journal of technology management & innovation*, Universidad Alberto Hurtado. Facultad de Economía y Negocios, v. 12, n. 1, p. 109–120, 2017. ISSN 0718-2724. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242017000100012&lng=en&tlng=en>. Citado 3 vezes nas páginas 87, 90 e 91.

VASCO, M.; CORTÉS, L. M.; GAITÁNA, S.; DURÁN, I. A. Fusiones y adquisiciones en latinoamérica, gobierno corporativo y modelo gravitacional. *Journal of Economics*,

Finance and Administrative Science, Universidad ESAN, v. 19, n. 37, p. 108–117, 2014.

ISSN 2077-1886. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-18862014000200007&lng=en&tlng=en>. Citado na página 93.

VINER, J. *Studies in the Theory of International Trade*. Harper and Brothers, 1965. Disponível em: <https://oll.libertyfund.org/title/viner-studies-in-the-theory-of-international-trade#Viner_0619_2>. Citado na página 34.

WCO, T. W. C. O. *Portal online*. 2020. Disponível em: <<http://www.wcoomd.org>>. Citado na página 26.

WEI, S.-J. *Intra-National versus International Trade: How Stubborn are Nations in Global Integration?* [S.l.], 1996. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:5531>>. Citado na página 60.

WOELWER, A.-L.; BURGARD, J. P.; KUNST, J.; VARGAS, M. *gravity: Estimation Methods for Gravity Models*. [S.l.], 2020. R package version 0.9.9. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=gravity>>. Citado na página 83.

WOLF, H. C. *Patterns of Intra- and Inter-State Trade*. [S.l.], 1997. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:5939>>. Citado na página 61.

WOOLDRIDGE, J. *Introdução a econometria: Uma abordagem moderna*. sixth. [S.l.]: Cengage learning, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 95.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. [S.l.]: MIT Press., 2010. Citado na página 100.

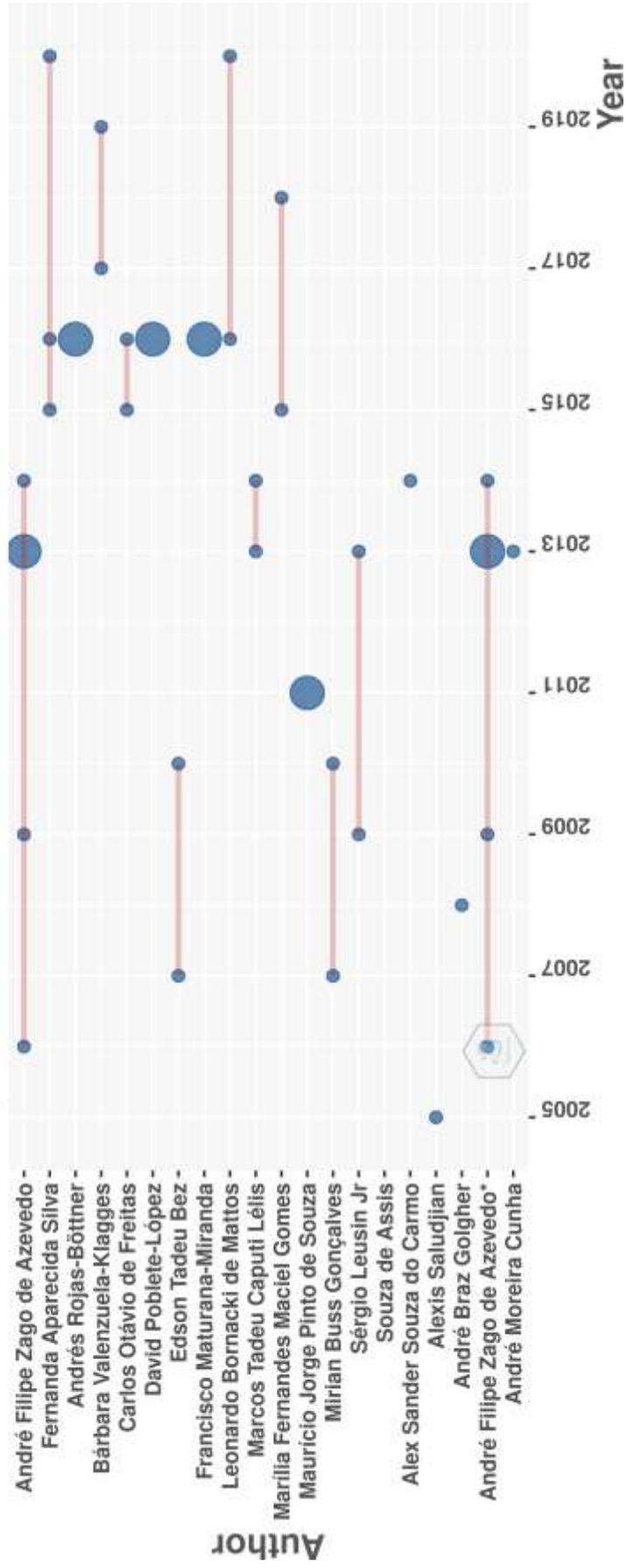
WORLDBANK. *Russia | Imports and Exports | World | Soya beans (soybeans) | Value (US\$) and Value Growth, YoY (%)*. 2021. Disponível em: <<https://data.worldbank.org>>. Citado na página 20.

APÊNDICE A — Legenda da classificação climática de Köppen-Geiger

Af	=	Clima equatorial
Am	=	Clima de monção
Aw ou As	=	Clima de savana
BWh	=	Clima árido quente
BWk	=	Clima árido frio
BSh	=	Clima semiárido quente
BSk	=	Clima semiárido frio
Cfa	=	Clima subtropical úmido
Cfb	=	Clima oceânico temperado
Cfc	=	Clima oceânico subpolar
Cwa	=	Clima subtropical úmido
Cwb	=	Clima subtropical de altitude
Cwc	=	Clima subtropical frio de altitude
Csa	=	Clima mediterrânico de verão quente
Csb	=	Clima mediterrânico verão fresco
Csc	=	Clima mediterrânico de verão frio
Dfa	=	Clima continental úmido de verão quente
Dfb	=	Clima continental úmido de verão fresco
Dfc	=	Clima subártico sem estação seca
Dfd	=	Clima subártico extremamente frio sem estação seca
Dwa	=	Clima continental úmido de verão quente influenciado pelas monções
Dwb	=	Clima continental úmido de verão fresco influenciado pelas monções
Dwc	=	Clima subártico influenciado pelas monções
Dwd	=	Clima subártico extremamente frio influenciado pela monções
Dsa	=	Clima continental úmido de verão quente com influência mediterrânea
Dsb	=	Clima continental úmido de verão fresco com influência mediterrânea
Dsc	=	Clima subártico com estação seca
Dsd	=	Clima subártico extremamente frio com estação seca
ET	=	Clima de tundra
EF	=	Clima glacial

APÊNDICE B – Autores que publicaram sobre o tema ao longo do tempo

Top-Authors' Production over the Time



APÊNDICE C – *Outputs* das estimativas

```

> print.table(est.desc)
      PAIS      CODE      ANO      Lat      Dist      EXP      PIB
AFRICA DO SUL : 5  ABW      : 5  Min.      : -44.283  Min.      : 1135  Min.      : 9.800e+01  Min.      : 1.711e+08
ALBANIA       : 5  AGO      : 5  1st Qu.: 2012  1st Qu.: 1.383  1st Qu.: 6470  1st Qu.: 1.789e+06  1st Qu.: 1.482e+10
ALEMANHA     : 5  ALB      : 5  Median : 2013  Median : 17.550  Median : 9738  Median : 1.462e+07  Median : 5.810e+10
ANGOLA       : 5  ARE      : 5  Mean    : 2013  Mean    : 17.368  Mean    : 9652  Mean    : 1.017e+08  Mean    : 6.076e+11
ANTIGUA BARBUDA: 5  ARG      : 5  3rd Qu.: 2014  3rd Qu.: 37.985  3rd Qu.: 11820  3rd Qu.: 7.329e+07  3rd Qu.: 3.490e+11
ARABIA SAUDITA : 5  ASM      : 5  Max.    : 2015  Max.    : 60.133  Max.    : 18550  Max.    : 1.856e+09  Max.    : 1.824e+13
(Other)      : 540  (Other): 540
      PIB_br      POP      POP_br      PIB_pc      PIB_pc_br      PIBM      Aland
Min.      : 1.802e+12  Min.      : 5.567e+04  Min.      : 197514541  Min.      : 387.1  Min.      : 8814  Min.      : 135
1st Qu.: 2.456e+12  1st Qu.: 3.382e+06  1st Qu.: 199287292  1st Qu.: 2372.6  1st Qu.: 12113  1st Qu.: 300000
Median : 2.465e+12  Median : 1.070e+07  Median : 2010355904  Median : 6557.9  Median : 12300  Median : 2252550
Mean    : 2.362e+12  Mean    : 5.504e+07  Mean    : 201014648  Mean    : 15085.2  Mean    : 11769  Mean    : 10132985
3rd Qu.: 2.473e+12  3rd Qu.: 4.495e+07  3rd Qu.: 202763744  3rd Qu.: 21421.8  3rd Qu.: 12370  3rd Qu.: 6802250
Max.    : 2.616e+12  Max.    : 1.371e+09  Max.    : 204471759  Max.    : 91254.0  Max.    : 13246  Max.    : 156979000

      Aland_br      Labor      Labor_br      conpc      PIBM      PartR
Min.      : 52027000  Min.      : 23184  Min.      : 95060189  Min.      : 0.0000  Min.      : 6.658e+13  Min.      : 2.480e-06
1st Qu.: 52650000  1st Qu.: 1726683  1st Qu.: 97603864  1st Qu.: 0.2814  1st Qu.: 6.829e+13  1st Qu.: 2.167e-04
Median : 53272000  Median : 4902501  Median : 98900705  Median : 1.4250  Median : 6.904e+13  Median : 8.501e-04
Mean    : 53272400  Mean    : 25234589  Mean    : 98620642  Mean    : 5.2921  Mean    : 6.926e+13  Mean    : 8.772e-03
3rd Qu.: 53895000  3rd Qu.: 19678725  3rd Qu.: 99937531  3rd Qu.: 5.3594  3rd Qu.: 7.023e+13  3rd Qu.: 4.996e-03
Max.    : 54518000  Max.    : 786338801  Max.    : 101600920  Max.    : 93.6319  Max.    : 7.219e+13  Max.    : 2.642e-01

      Distr      Eland      Eland_br      Lat_p      Lat_p_br      ElandT      ElandT_br
Min.      : 2.912e+04  Min.      : 0.0001622  Min.      : 0.5366  Min.      : 0.3833  Min.      : 15.79  Min.      : 0.0000354  Min.      : 0.03399
1st Qu.: 1.876e+06  1st Qu.: 0.1324993  1st Qu.: 0.5386  1st Qu.: 11.6667  1st Qu.: 15.79  1st Qu.: 0.0054008  1st Qu.: 0.03412
Median : 1.047e+07  Median : 0.3208775  Median : 0.5393  Median : 23.6583  Median : 15.79  Median : 0.0156222  Median : 0.03416
Mean    : 1.428e+08  Mean    : 0.4793856  Mean    : 0.5402  Mean    : 25.6645  Mean    : 15.79  Mean    : 0.0416275  Mean    : 0.03422
3rd Qu.: 3.417e+07  3rd Qu.: 0.6391775  3rd Qu.: 0.5394  3rd Qu.: 38.7333  3rd Qu.: 15.79  3rd Qu.: 0.0331686  3rd Qu.: 0.03417
Max.    : 6.087e+09  Max.    : 2.6699962  Max.    : 0.5473  Max.    : 60.1333  Max.    : 15.79  Max.    : 1.6137973  Max.    : 0.03466

```

Estatística descritiva das variáveis empregadas

Equação 3.1

```
> Basepooled=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(Dist), data=expacucar, model="pooling")
> summary(Basepooled)
Pooling Model
```

Call:

```
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist),
     data = expacucar, model = "pooling")
```

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-12.66876	-1.73213	0.47838	2.00459	4.51976

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)
(Intercept)	-56.025309	24.292603	-2.3063	0.02148 *
log(PIB)	0.451777	0.049747	9.0815	< 2e-16 ***
log(PIB_br)	2.164850	0.850070	2.5467	0.01116 *
log(Dist)	-0.090978	0.222937	-0.4081	0.68337

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 4246.1

Residual Sum of Squares: 3618.8

R-Squared: 0.14774

Adj. R-Squared: 0.14293

F-statistic: 30.7399 on 3 and 532 DF, p-value: < 2.22e-16

```
> BaseEF=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(Dist), data=expacucar, model="within")
> summary(BaseEF)
```

Oneway (individual) effect Within Model

Call:

```
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist),
     data = expacucar, model = "within")
```

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-6.5549319	-0.3856711	-0.0040293	0.4839570	6.5738971

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)
log(PIB)	-0.96406	0.54771	-1.7602	0.07911 .
log(PIB_br)	2.37816	0.41898	5.6760	2.574e-08 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 732.57

Residual Sum of Squares: 677.51

R-Squared: 0.075166

Adj. R-Squared: -0.17806

F-statistic: 17.0679 on 2 and 420 DF, p-value: 7.4707e-08

```

> summary(Fixef(BaseEF)) #apresenta o coeficiente da dummy de cada uma das unidades
      Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
ABW  -36.060    16.287  -2.2140  0.02736 *
AGO  -24.377    17.793  -1.3780  0.17141
ALB  -29.065    16.871  -1.7227  0.08568 .
ARE  -21.646    18.237  -1.1869  0.23593
ARG  -31.628    18.396  -1.7193  0.08629 .
ASM  -37.493    15.760  -2.3789  0.01781 *
ATG  -35.658    15.995  -2.2294  0.02632 *
AUS  -24.946    18.808  -1.3263  0.18546
BEL  -27.821    18.362  -1.4716  0.14189
BEN  -27.565    16.848  -1.6361  0.10256
BGD  -22.615    17.871  -1.2654  0.20642
BGR  -27.095    17.482  -1.5499  0.12192
BHR  -27.139    17.235  -1.5747  0.11609
BOL  -28.833    17.205  -1.6759  0.09451 .
CAN  -20.764    18.887  -1.0994  0.27222
CHE  -27.375    18.499  -1.4799  0.13966
CHL  -25.155    18.086  -1.3908  0.16502
CHN  -18.172    19.604  -0.9269  0.35450
CIV  -27.452    17.242  -1.5922  0.11209
CMR  -27.523    17.230  -1.5974  0.11094
COD  -29.598    17.240  -1.7168  0.08674 .
COG  -30.693    17.017  -1.8036  0.07201 .
COL  -24.723    18.209  -1.3577  0.17530
COM  -35.808    15.938  -2.2467  0.02518 *
CPV  -31.494    16.134  -1.9521  0.05159 .
CYP  -31.261    17.122  -1.8258  0.06859 .
DEU  -24.488    19.197  -1.2756  0.20279
DJI  -31.221    16.122  -1.9365  0.05348 .
DNK  -27.750    18.189  -1.5257  0.12784
DOM  -28.008    17.514  -1.5992  0.11054
DZA  -22.322    17.976  -1.2418  0.21502
EGY  -22.174    18.125  -1.2234  0.22187
ESP  -23.335    18.771  -1.2431  0.21451
FIN  -25.738    18.089  -1.4228  0.15552
FRA  -23.246    19.072  -1.2188  0.22360
GAB  -30.655    16.980  -1.8053  0.07174 .
GBR  -22.274    19.088  -1.1669  0.24391
GEO  -26.385    16.973  -1.5545  0.12081
GHA  -25.364    17.399  -1.4577  0.14566
GIN  -28.167    16.701  -1.6865  0.09244 .
GMB  -29.764    16.035  -1.8563  0.06412 .
GNB  -33.200    15.939  -2.0829  0.03786 *
GNQ  -30.381    17.050  -1.7819  0.07548 .
GRC  -26.327    18.048  -1.4587  0.14539
HKG  -30.960    18.112  -1.7094  0.08812 .
HRV  -25.774    17.467  -1.4755  0.14082
HTI  -31.082    16.920  -1.8370  0.06691 .
IDN  -21.657    18.600  -1.1643  0.24496
IND  -20.714    18.925  -1.0946  0.27434
IRN  -22.503    18.343  -1.2267  0.22061
IRQ  -25.129    17.988  -1.3970  0.16316
ISR  -23.818    18.121  -1.3143  0.18945
ITA  -24.366    18.961  -1.2851  0.19947
JAM  -30.736    16.925  -1.8160  0.07809 .
JOR  -28.693    17.272  -1.6613  0.09740 .
JPN  -24.735    19.358  -1.2777  0.20205
KEN  -28.668    17.448  -1.6431  0.10112
KIR  -38.915    15.348  -2.5355  0.01159 *
KOR  -24.395    18.779  -1.2990  0.19465
LBN  -27.067    17.381  -1.5573  0.12015
LBR  -30.976    16.313  -1.8989  0.05826 .
LBY  -26.840    17.386  -1.5437  0.12341
LKA  -25.512    17.571  -1.4520  0.14726
LTU  -27.258    17.371  -1.5692  0.11736
LVA  -29.273    17.204  -1.7016  0.08958 .
MAR  -23.619    17.709  -1.3337  0.18302
MDG  -28.659    16.851  -1.7007  0.08973 .
MEX  -25.849    18.733  -1.3798  0.16837
MLT  -29.458    16.802  -1.7533  0.08029 .
MMR  -28.553    17.464  -1.6349  0.10281
MNE  -30.526    16.467  -1.8538  0.06447 .
MOZ  -32.442    16.973  -1.9114  0.05664 .
MRT  -27.321    16.631  -1.6428  0.10116
MUS  -29.269    16.854  -1.7366  0.08319 .
MYS  -22.267    18.165  -1.2259  0.22094
NAM  -31.841    16.864  -1.8881  0.05970 .
NGA  -21.684    18.338  -1.1824  0.23770
NLD  -24.184    18.581  -1.3016  0.19378
NZL  -27.065    17.941  -1.5086  0.13216
OMN  -30.220    17.575  -1.7195  0.08627 .
PAK  -28.018    18.041  -1.5530  0.12118
PER  -28.016    17.959  -1.5600  0.11951
PHL  -30.862    18.110  -1.7041  0.08909 .
PNG  -33.777    17.074  -1.9782  0.04855 *
POL  -28.274    18.393  -1.5372  0.12500
PRT  -26.264    18.022  -1.4573  0.14578
PRY  -31.735    17.290  -1.8355  0.06715 .
ROU  -25.131    17.944  -1.4005  0.16211
RUS  -20.103    18.932  -1.0618  0.28893
SAU  -21.439    18.504  -1.1586  0.24728
SDN  -26.820    17.455  -1.5365  0.12517
SEN  -27.264    17.021  -1.6018  0.10996
SGP  -27.346    18.146  -1.5070  0.13256
SLE  -30.623    16.445  -1.8621  0.06329 .
SUR  -32.005    16.518  -1.9376  0.05335 .
SVN  -32.249    17.394  -1.8540  0.06444 .
SWE  -26.427    18.403  -1.4360  0.15175
SYC  -35.883    15.999  -2.2427  0.02543 *
TGO  -28.357    16.450  -1.7238  0.08548 .
THA  -30.174    18.281  -1.6505  0.09958 .
TON  -36.784    15.630  -2.3535  0.01906 *
TTO  -30.541    17.160  -1.7798  0.07584 .
TUN  -25.476    17.380  -1.4658  0.14344
TUR  -24.990    18.600  -1.3435  0.17983
TZA  -27.643    17.358  -1.5925  0.11201 .
UKR  -27.922    17.854  -1.5639  0.11859
URY  -26.316    17.443  -1.5087  0.13212
USA  -19.479    19.861  -0.9808  0.32728
UZB  -28.128    17.550  -1.6027  0.10975
VNM  -28.153    17.911  -1.5718  0.11674
VUT  -36.651    15.851  -2.3123  0.02125 *
WSM  -35.649    15.824  -2.2528  0.02479 *
YEM  -25.019    17.314  -1.4450  0.14920
ZAF  -23.566    18.229  -1.2928  0.19681
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

```

> #teste de Pessaran para dependência transversal (usual em séries temporais longas)
> pcdtest(BaseEA, test="cd")

Pesaran CD test for cross-sectional dependence in panels

data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
z = 26.857, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: cross-sectional dependence
> shapiro.test(BaseEF$residuals)

Shapiro-Wilk normality test

data: BaseEF$residuals
W = 0.89588, p-value < 2.2e-16
> BaseREF=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(Dist), data=expacucar, robust=T, model="within")
> summary(BaseREF)
Oneway (individual) effect Within Model

Call:
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist),
    data = expacucar, model = "within", robust = T)
>
>
O Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

c Residuals:
p      Min.      1st Qu.      Median      3rd Qu.      Max.
-6.5549319 -0.3856711 -0.0040293  0.4839570  6.5738971

U Coefficients:
E              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
log(PIB)      -0.96406    0.54771 -1.7602  0.07911 .
log(PIB_br)   2.37816    0.41898  5.6760 2.574e-08 ***
i ---
t Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> #teste de Chow: H0 não há diferença entre os interceptos e inclinações dos modelos, opta-se pelo pooled
> pFtest(BaseEF,Basepooled)

R      F test for individual effects
-
data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
CF = 16.28, df1 = 112, df2 = 420, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
(> #teste de Breuch Pagan: H0 variância = 0, opta-se pelo pooled
1 > plntest(Basepooled, type="bp")
1
1 Lagrange Multiplier Test - (Breusch-Pagan) for unbalanced panels
-
S
data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
1 chisq = 579.55, df = 1, p-value < 2.2e-16
f alternative hypothesis: significant effects
/> #teste de Hausman: H0:ai não são correlacionados com Xit, opta-se por EV
(> phtest(BaseEF,BaseEA)

Hausman Test

data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
chisq = 6.7677, df = 2, p-value = 0.03392
alternative hypothesis: one model is inconsistent

```

Equação 3.2

```
> BaseRpooled=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(DistR), data=expacucar, model="pooling")
> summary(BaseRpooled)
Pooling Model
```

Call:

```
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(DistR),
     data = expacucar, model = "pooling")
```

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-12.7347	-1.7087	0.4708	2.0157	4.5421

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)
(Intercept)	-51.45520	25.76727	-1.9969	0.04634 *
log(PIB)	0.32160	0.21616	1.4878	0.13740
log(PIB_br)	2.16375	0.84990	2.5459	0.01118 *
log(DistR)	-0.13241	0.22267	-0.5946	0.55234

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 4246.1

Residual Sum of Squares: 3617.5

R-Squared: 0.14804

Adj. R-Squared: 0.14323

F-statistic: 30.813 on 3 and 532 DF, p-value: < 2.22e-16

```
> BaseREF=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(DistR), data=expacucar, model="within")
> summary(BaseREF)
```

Oneway (individual) effect Within Model

Call:

```
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(DistR),
     data = expacucar, model = "within")
```

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Residuals:

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-5.982392	-0.449962	0.029267	0.522004	6.069997

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t)
log(PIB)	-14.62767	1.97436	-7.4088	7.087e-13 ***
log(PIB_br)	2.03826	0.39872	5.1120	4.856e-07 ***
log(DistR)	-15.21465	2.12161	-7.1713	3.388e-12 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 732.57

Residual Sum of Squares: 603.44

R-Squared: 0.17627

Adj. R-Squared: -0.051781

F-statistic: 29.8871 on 3 and 419 DF, p-value: < 2.22e-16

```

> summary(fixef(BaseEF)) #representa o coeficiente da dummy de cada uma das unidades
      Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)      Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
ABW  -36.060    16.287  -2.2140  0.02736 *   LBN  -27.067    17.381  -1.5573  0.12815
AGD  -24.377    17.793  -1.3700  0.17141     LBR  -30.976    16.313  -1.8989  0.05826 .
ALB  -29.065    16.871  -1.7227  0.08568 .     LBY  -26.840    17.386  -1.5437  0.12341
ARE  -21.646    18.237  -1.1869  0.23593     LKA  -25.512    17.571  -1.4520  0.14726
ARG  -31.628    18.396  -1.7193  0.08629 .     LTU  -27.258    17.371  -1.5692  0.11736
ASM  -37.493    15.760  -2.3789  0.01781 *   LVA  -29.273    17.204  -1.7016  0.08958 .
ATG  -35.658    15.995  -2.2294  0.02632 *   MAR  -23.619    17.709  -1.3337  0.18302
AUS  -24.946    18.808  -1.3263  0.18546     MDG  -28.659    16.851  -1.7007  0.08973 .
BEL  -27.021    18.362  -1.4716  0.14189     MEX  -25.849    18.733  -1.3798  0.16837
BEN  -27.565    16.848  -1.6361  0.10256     MLT  -29.458    16.802  -1.7533  0.08029 .
BGD  -22.615    17.871  -1.2654  0.20642     MMR  -28.553    17.464  -1.6349  0.10381
BGR  -27.095    17.482  -1.5499  0.12192     MNE  -30.526    16.467  -1.8538  0.06447 .
BHR  -27.139    17.235  -1.5747  0.11609     MOZ  -32.442    16.973  -1.9114  0.05664 .
BOL  -28.833    17.205  -1.6759  0.09451 .     MRT  -27.321    16.631  -1.6428  0.10116
CAN  -20.764    18.887  -1.0994  0.27222     MUS  -29.269    16.854  -1.7366  0.08319 .
CHE  -27.375    18.499  -1.4799  0.13966     MYS  -22.267    18.165  -1.2259  0.22094
CHL  -25.155    18.006  -1.3908  0.16502     NAM  -31.841    16.864  -1.8881  0.05970 .
CHN  -18.172    19.604  -0.9269  0.35450     NGA  -21.684    18.338  -1.1824  0.23770
CIV  -27.452    17.242  -1.5922  0.11209     NLD  -24.184    18.581  -1.3016  0.19378
CMR  -27.523    17.230  -1.5974  0.11094     NZL  -27.065    17.941  -1.5086  0.13216
COD  -29.598    17.240  -1.7168  0.08674 .     OMN  -30.220    17.575  -1.7195  0.08627 .
COG  -30.693    17.017  -1.8036  0.07201 .     PAK  -28.018    18.041  -1.5530  0.12118
COL  -24.723    18.209  -1.3577  0.17530     PER  -28.016    17.959  -1.5600  0.11951
COM  -35.808    15.938  -2.2467  0.02518 *   PHL  -30.862    18.110  -1.7041  0.08909 .
CPV  -31.494    16.134  -1.9521  0.05159 .     PNG  -33.777    17.074  -1.9782  0.04855 *
CYP  -31.261    17.122  -1.8258  0.06859 .     POL  -28.274    18.393  -1.5372  0.12500
DEU  -24.488    19.197  -1.2756  0.20279     PRT  -26.264    18.022  -1.4573  0.14578
DJI  -31.221    16.122  -1.9365  0.05348 .     PRY  -31.735    17.290  -1.8355  0.06715 .
DNK  -27.750    18.189  -1.5257  0.12784     ROU  -25.131    17.944  -1.4005  0.16211
DOM  -28.000    17.514  -1.5992  0.11054     RUS  -20.103    18.932  -1.0618  0.28893
DZA  -22.322    17.976  -1.2418  0.21502     SAU  -21.439    18.504  -1.1586  0.24728
EGY  -22.174    18.125  -1.2234  0.22187     SDN  -26.820    17.455  -1.5365  0.12517
ESP  -23.335    18.771  -1.2431  0.21451     SEN  -27.264    17.021  -1.6018  0.10996
FIN  -25.738    18.089  -1.4228  0.15552     SGP  -27.346    18.146  -1.5070  0.13256
FRA  -23.246    19.072  -1.2188  0.22360     SLE  -30.623    16.445  -1.8621  0.06329 .
GAB  -30.655    16.980  -1.8053  0.07174 .     SUR  -32.005    16.518  -1.9376  0.05335 .
GBR  -22.274    19.088  -1.1669  0.24391     SVN  -32.249    17.394  -1.8540  0.06444 .
GEO  -26.385    16.973  -1.5545  0.12081     SWE  -26.427    18.403  -1.4360  0.15175
GHA  -25.364    17.399  -1.4577  0.14566     SYC  -35.883    15.999  -2.2427  0.02543 *
GIN  -28.167    16.701  -1.6865  0.09244 .     TGO  -28.357    16.450  -1.7238  0.08548 .
GMB  -29.764    16.035  -1.8563  0.06412 .     THA  -30.174    18.281  -1.6505  0.09958 .
GNB  -33.200    15.939  -2.0829  0.03786 *   TON  -36.784    15.630  -2.3535  0.01906 *
GNQ  -30.381    17.050  -1.7819  0.07540 .     TTO  -30.541    17.160  -1.7798  0.07584 .
GRG  -26.327    18.048  -1.4587  0.14539     TUN  -25.476    17.380  -1.4658  0.14344
HKG  -30.960    18.112  -1.7094  0.08812 .     TUR  -24.990    18.600  -1.3435  0.17983
HRV  -25.774    17.467  -1.4755  0.14082     TZA  -27.643    17.358  -1.5925  0.11201
HTI  -31.082    16.920  -1.8370  0.06691 .     UKR  -27.922    17.854  -1.5639  0.11859
IDN  -21.657    18.600  -1.1643  0.24496     URY  -26.316    17.443  -1.5087  0.13212
IND  -20.714    18.925  -1.0946  0.27434     USA  -19.479    19.861  -0.9808  0.32728
IRN  -22.503    18.343  -1.2267  0.22061     UZB  -28.128    17.550  -1.6027  0.10975
IRQ  -25.129    17.988  -1.3970  0.16316     VNM  -28.153    17.911  -1.5718  0.11674
ISR  -23.818    18.121  -1.3143  0.18945     VUT  -36.651    15.851  -2.3123  0.02125 *
ITA  -24.366    18.961  -1.2851  0.19947     WSM  -35.649    15.824  -2.2528  0.02479 *
JAM  -30.736    16.925  -1.8160  0.07009 .     YEM  -25.019    17.314  -1.4450  0.14920
JOR  -28.693    17.272  -1.6613  0.09740 .     ZAF  -23.566    18.229  -1.2928  0.19681
JPN  -24.735    19.358  -1.2777  0.20205
KEN  -28.668    17.448  -1.6431  0.10112
KIR  -38.915    15.348  -2.5355  0.01159 *
KOR  -24.395    18.779  -1.2990  0.19465

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

> #teste Wooldridge efeitos individuais não observados para pooled
> pwtest(BaseRpooled)

      Wooldridge's test for unobserved individual effects

data: formula
z = 6.0884, p-value = 1.14e-09
alternative hypothesis: unobserved effect

> pwtest(BaseRpooled, effect = "time")

      Wooldridge's test for unobserved time effects

data: formula
z = 1.0363, p-value = 0.3001
alternative hypothesis: unobserved effect
> BaseREF=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(DistR), data=expacucar, robust=T, model="within")
> summary(BaseREF)
Oneway (individual) effect Within Model

Call:
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(DistR),
     data = expacucar, model = "within", robust = T)

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Residuals:
      Min.      1st Qu.      Median      3rd Qu.      Max.
-5.982392 -0.449962  0.029267  0.522004  6.069997

Coefficients:
              Estimate Std. Error t-value Pr(>|t|)
log(PIB)      -14.62767   1.97436  -7.4088 7.087e-13 ***
log(PIB_br)    2.03826    0.39872   5.1120 4.856e-07 ***
log(DistR)    -15.21465    2.12161  -7.1713 3.388e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    732.57
Residual Sum of Squares: 603.44
R-Squared:              0.17627
Adj. R-Squared:        -0.051781
F-statistic: 29.8871 on 3 and 419 DF, p-value: < 2.22e-16

```

```

> BaseREA=plm(log(EXP)~log(PIB)+log(PIB_br)+log(DistR), data=expacucar, model="random", random.method = "walhus")
> summary(BaseREA)
Oneway (individual) effect Random Effect Model
(Wallace-Hussain's transformation)

Call:
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(DistR),
     data = expacucar, model = "random", random.method = "walhus")

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Effects:
              var std.dev share
idiosyncratic 1.631  1.277 0.236
individual    5.272  2.296 0.764
theta:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.6943  0.7586  0.7586  0.7523  0.7586  0.7586

Residuals:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-7.503 -0.557  0.280  0.011  0.803  4.617

Coefficients:
              Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
(Intercept) -28.19519   21.20015 -1.3300  0.18353
log(PIB)     -0.32313    0.42147 -0.7667  0.44327
log(PIB_br)  2.28258    0.41925  5.4444 5.197e-08 ***
log(DistR)   -0.79881    0.43239 -1.8474  0.06468 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:    917.27
Residual Sum of Squares: 864.16
R-Squared:               0.06394
Adj. R-Squared:         0.058661
Chisq: 55.9544 on 3 DF, p-value: 4.2961e-12
> #teste de Chow: H0 não há diferença entre os interceptos e inclinações dos modelos, opta-se pelo pooled
> pFtest(BaseREF,BaseRpooled)

      F test for individual effects

data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
F = 16.273, df1 = 112, df2 = 420, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
> #teste de Breuch Pagan: H0 variancia = 0, opta-se pelo pooled
> plmtest(BaseRpooled, type="bp")

      Lagrange Multiplier Test - (Breusch-Pagan) for unbalanced panels

data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
chisq = 580.75, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
> #teste de Hausman: H0: ai não são correlacionados com Xit, opta-se por EV
> phptest(BaseREF,BaseREA)

      Hausman Test

data: log(EXP) ~ log(PIB) + log(PIB_br) + log(Dist)
chisq = 6.7677, df = 2, p-value = 0.03392
alternative hypothesis: one model is inconsistent
> shapiro.test(BaseREF$residuals)

      Shapiro-Wilk normality test

data: BaseREF$residuals
W = 0.89588, p-value < 2.2e-16

```

Equação 3.3

```

> EDFea=plm(log(EXP)~log(PIB_pc)+log(PIB_pc_br)+log(POP)+log(Distr)+log(ElandT)+log(ElandT_br), data=expacucar,
  model="random", random.method = "walhus")
> summary(EDFea)
Oneway (individual) effect Random Effect Model
(Wallace-Hussain's transformation)

Call:
plm(formula = log(EXP) ~ log(PIB_pc) + log(PIB_pc_br) + log(POP) +
  log(Distr) + log(ElandT) + log(ElandT_br), data = expacucar,
  model = "random", random.method = "walhus")

Unbalanced Panel: n = 114, T = 3-5, N = 536

Effects:
              var std.dev share
idiosyncratic 1.538  1.240 0.248
individual    4.659  2.158 0.752
theta:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.6851 0.7511  0.7511  0.7446 0.7511  0.7511

Residuals:
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-7.3067 -0.4926  0.2807  0.0106  0.7800  4.2465

Coefficients:
              Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
(Intercept)  172.608634  41.198292  4.1897 2.793e-05 ***
log(PIB_pc)   -0.565501   0.449834 -1.2571  0.20871
log(PIB_pc_br) 0.935806   0.513245  1.8233  0.06826 .
log(POP)       0.188710   0.414719  0.4550  0.64909
log(Distr)    -0.521631   0.422238 -1.2354  0.21668
log(ElandT)   -0.091832   0.145635 -0.6306  0.52833
log(ElandT_br) 46.073942  10.923757  4.2178 2.467e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares:  928.91
Residual Sum of Squares: 813.31
R-Squared:  0.12811
Adj. R-Squared: 0.11822
Chisq: 101.264 on 6 DF, p-value: < 2.22e-16
> pFtest(EDFef,EDFpooled)

      F test for individual effects

data:  log(EXP) ~ log(PIB_pc) + log(PIB_pc_br) + log(POP) + log(Distr) + ...
F = 15.224, df1 = 113, df2 = 416, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
> #teste de Breuch Pagan: H0: variancia = 0, opta-se pelo pooled
> plmtest(EDFpooled, type="bp")

Lagrange Multiplier Test - (Breusch-Pagan) for unbalanced panels

data:  log(EXP) ~ log(PIB_pc) + log(PIB_pc_br) + log(POP) + log(Distr) + ...
chisq = 554.67, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: significant effects
> #teste de Hausman: H0: ai não são correlacionados com Xit, opta-se por EV
> phptest(EDFef,EDFea)

Hausman Test

data:  log(EXP) ~ log(PIB_pc) + log(PIB_pc_br) + log(POP) + log(Distr) + ...
chisq = 14.698, df = 6, p-value = 0.02274
alternative hypothesis: one model is inconsistent
> shapiro.test(EDFef$residuals)

Shapiro-Wilk normality test

data:  EDFef$residuals
W = 0.90214, p-value < 2.2e-16

```

PMLL

```
> EDFppmlR<-ppml(dependent_variable = "EXP", distance = "DistR", additional_regressors = c("PIB_pc","PIB_pc_br",
"POP","ElandT","ElandT_br"), vce_robust=T, data = expacucar)
> summary(EDFppmlR)
```

Call:

```
y_ppml ~ dist_log + PIB_pc + PIB_pc_br + POP + ElandT + ElandT_br
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-29451	-9607	-5209	-859	57408

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.582e+01	1.265e+01	1.250	0.2116
dist_log	-4.501e-01	5.113e-02	-8.805	< 2e-16 ***
PIB_pc	-3.409e-05	5.986e-06	-5.695	1.99e-08 ***
PIB_pc_br	1.183e-04	7.048e-05	1.679	0.0938 .
POP	4.114e-10	2.097e-10	1.962	0.0503 .
ElandT	-3.237e+00	2.343e+00	-1.382	0.1676
ElandT_br	2.478e+02	3.851e+02	0.644	0.5201

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 254404870)

Null deviance: 1.4566e+11 on 569 degrees of freedom
Residual deviance: 9.3014e+10 on 563 degrees of freedom
AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 6