

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Uma análise espacial da demanda por diesel nos estados brasileiros

Yuri Machado de Souza

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2020**

Yuri Machado de Souza
Bacharel em Administração

Uma análise espacial da demanda por diesel nos estados brasileiros
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LUCIANO RODRIGUES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Souza, Yuri Machado de

Uma análise espacial da demanda de diesel nos estados brasileiros /
Yuri Machado de Souza. - - versão revisada de acordo com a resolução
CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

62 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz
de Queiroz”.

1. Econometria espacial 2. Planejamento energético 3. Modelagem
estatística 4. Demanda por combustíveis I. Título

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão primeiramente aos meus pais, Maria Estela Machado de Souza e Francisco Alves de Souza Jr. Sem o suporte, educação e valores que passaram a mim, não seria possível completar mais essa etapa.

Agradeço também aos meus orientadores, na graduação Lilian Maluf de Lima Cunha e agora no mestrado Luciano Rodrigues, por todo acompanhamento e aprendizado ao longo desses últimos anos, o que possibilitou a formulação desse trabalho e a conclusão de mais esse ciclo.

Aos meus colegas de sala, em especial ao Lucas Rodrigues e ao Marcello Luiz de Souza Jr que me acompanharam nesses últimos anos e foram cruciais para o sucesso em mais essa etapa juntos.

Também agradeço a diversas pessoas que me guiaram não só nessa etapa, mas em todas as outras até chegar a este ponto, com um destaque especial à Soeli e Rinaldo Nucci, que sempre estiveram em minha vida como ótimos modelos a serem seguidos.

Por fim, registro aqui também meu agradecimento à instituição de fomento CAPES por viabilizar a realização desse mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. MERCADO DE DIESEL	13
2.2. LITERATURA DISPONÍVEL SOBRE A DEMANDA POR DIESEL.....	20
2.3. ESTUDOS DE DEMANDA COM O EMPREGO DE ECONOMETRIA ESPACIAL	27
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. DESCRIÇÃO DOS DADOS	32
3.2. MODELO EMPÍRICO	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Uma análise espacial da demanda por diesel nos estados brasileiros

As grandes mudanças na dinâmica energética mundial e no funcionamento do mercado doméstico de combustíveis exigem um entendimento profundo do comportamento do consumo energético nos diferentes setores da economia. Em atenção a isso, o presente trabalho possui como objetivo compreender e mensurar variáveis que impactam a demanda por diesel nos estados brasileiros. A metodologia empregada utiliza dados em painel e econometria espacial na avaliação da demanda pelo derivado no período de 2002 a 2016. Em relação às elasticidades preço e renda da demanda, as estimações dos parâmetros obtidos atingiram, respectivamente, $-0,5275$ e $0,4247$ para o modelo determinado como mais adequado para o problema estudado (modelo SLX com efeitos fixos). Além dessas elasticidades, estimou-se que dado um crescimento de 1% na produção agropecuária de um estado, em média, este estado apresenta um aumento de $0,1471\%$ na demanda pelo diesel. Relacionado ao componente espacial, os resultados indicaram que a demanda por diesel em um determinado Estado é influenciada por uma dinâmica da renda e da produção agropecuária nos Estados vizinhos. A defasagem espacial dessas variáveis indicou elasticidades de $0,2361$ e $-0,1575$ para a renda e o valor da produção agropecuária, respectivamente. Os resultados obtidos oferecem indicações importantes para formuladores de políticas públicas e ações empresariais relacionadas ao mercado de diesel no Brasil.

Palavras-chave: Econometria espacial, Planejamento energético, Modelagem estatística, Demanda por combustíveis.

ABSTRACT

A spatial analysis of diesel demand in the Brazilian states

The changes observed in the global energy matrix and in the Brazilian fuel market require a deep understanding of the behavior of energy consumption. In this context, the present study aims to understand and measure variables that impact the demand for diesel in the Brazilian states. The adopted methodology uses panel data and spatial econometrics to assess the demand for diesel from 2002 to 2016. The estimated price and income elasticities of demand reached -0.5275 and 0.4247 , respectively, for the SLX model with fixed effects. The results also indicated that a growth of 1% in the agricultural production of a state promotes an increase of 0.1471% in the demand for diesel in the same state. Additionally, the estimated parameters show that demand for diesel in a state is influenced by income and agricultural production in neighboring states. The spatial lag of these variables indicated elasticities of 0.2361 and -0.1575 for income and for the value of agricultural production, respectively. The results obtained offer important indications for public policy makers and business actions related to the diesel market in Brazil.

Keywords: spatial econometrics, energy planning, statistical modeling, fuel demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de diesel nas macrorregiões em 2018	13
Figura 2. Participação relativa das unidades da federação nas vendas de diesel em 2018.	14
Figura 3. Consumo de diesel por atividade em 2018.	15
Figura 4. Preço nominal do diesel (R\$/L)	15
Figura 5. Preço real do diesel (R\$/L)	16
Figura 6. Market-share da petrobras no refino nacional de diesel.....	17
Figura 7. Estrutura de formação do preço do diesel em fevereiro de 2019	17
Figura 8. Importação e exportação de diesel no Brasil (em bilhões de litros).....	18
Figura 9. Relação entre importação e o consumo doméstico de diesel.....	19
Figura 10. Produção de biodiesel em bilhões de litros.	19
Figura 11. Elasticidades preço da demanda.	23
Figura 12. Elasticidades renda da demanda	24
Figura 13. Descrição espacial da variável consumo em litros de diesel per capita.	34
Figura 14. Evolução da variável consumo em litros de diesel per capita por macrorregião.	34
Figura 15. Descrição espacial da variável preço em R\$/L a valores de 2016	35
Figura 16. Evolução da variável preço em R\$/L por macrorregião a valores de 2016.....	36
Figura 17. Descrição espacial da variável renda em R\$ per capita a valores de 2016.	36
Figura 18. Evolução da variável renda em milhares de R\$ per capita por macrorregião a valores de 2016	37
Figura 19. Descrição espacial da variável portos	37
Figura 20. Descrição por macrorregião da variável portos.....	38
Figura 21. Descrição espacial da variável exportação em R\$ <i>per capita</i> a valores de 2016.....	38
Figura 22. Evolução da variável exportação em milhares de R\$ per capita por macrorregião a valores de 2016	39
Figura 23. Descrição espacial da variável agro em bilhões de R\$.....	39
Figura 24. Evolução da variável agro em milhares de R\$ per capita por macrorregião a valores de 2016	40
Figura 25. Interação espacial entre as variáveis	44
Figura 26. Aninhamento dos modelos de espaciais	45
Figura 27. Gráfico de conectividade	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Elasticidades estimadas para o mercado brasileiro de diesel.....	21
Tabela 2. Elasticidades estimadas para o diesel utilizando dados em painel.....	26
Tabela 3. Resumo dos trabalhos com econometria espacial no setor de combustíveis e energia.....	31
Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis adotadas tomando-se os valores médios para o Brasil.....	33
Tabela 5. Matriz de correlação.....	41
Tabela 6. Resultado teste de Hausman.....	48
Tabela 7. Resultados modelos de efeitos fixos.....	49
Tabela 8. Resultado teste de Pesaran.....	49
Tabela 9. Matriz de correlação com variáveis defasadas espacialmente.....	50
Tabela 10. Resultados dos modelos com base em efeitos fixos.....	51
Tabela 11. Resultados dos modelos com base em efeitos aleatórios.....	51
Tabela 12. Resultados do modelo SLX-EF.....	52
Tabela 13. Resultados do modelo EF com preço e renda.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Associação Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASpECM	Asymmetric Spatial Error Correction Model
CNT	Confederação Nacional do Transporte
EKC	Environmental Kuznets Curve
FE	Fixed Effect Model
FE(t)	Fixed Effect on time
FE(t and n)	Fixed Effect on time and cross section units
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GMM-DIF	Generalized method of moments in Differences
GMM-SYS	Generalized method of moments System
GNV	Gás Natural Veicular
GWR	Geographically Weighted Regression
HP	Han e Philips Model
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
LA-AIDS	Linearized Almost Ideal Demand System
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MQG	Mínimos Quadrados Generalizados
PIB	Produto Interno Bruto
RE	Random Effect Model
SAC	Spatial Autoregressive Combined
SAR	Spatial Autoregressive Model
SARAR	Spatial Autoregressive Model with Autoregressive Disturbances
SDEM	Spatial Durbin Error Model
SDM	Spatial Durbin Model
SEM	Spatial Error Model
SLX	Spatial Lag of X Model
TRR	Transportador Revendedor Retalhista

1. INTRODUÇÃO

O consumo de diesel para o transporte de cargas no Brasil se expandiu de forma expressiva na última década. Esse aspecto, associado à política de represamento dos preços do produto e à consequente limitação imposta para a expansão do parque nacional de refino nacional, promoveu um aumento de importação sem precedentes na história recente do País (Biodieselbr, 2019).

O Brasil, que era autossuficiente e exportador de derivados até 2008, passou a importar volumes crescentes de diesel para atendimento da demanda doméstica. Esse movimento não planejado alterou substancialmente o fluxo de transporte do produto no mercado nacional, ampliando a complexidade dessa operação. Ao mesmo tempo, nesse período, observou-se um avanço das exportações agropecuárias, com maior uso do diesel para o transporte dessas mercadorias, e o emprego do derivado para a geração de energia elétrica.

Com efeito, em 2018 o país importou 10,8 bilhões de litros de diesel para o abastecimento doméstico, que representou mais de 20% da demanda nacional pelo derivado (ANP, 2019).

Esse cenário com ajustes expressivos na demanda e alterações na estrutura de suprimento de diesel tem gerado preocupação entre os agentes que atuam nesse mercado, exigindo uma análise mais estruturada da demanda pelo produto com vistas à consecução de novos investimentos na produção e na logística de importação e distribuição do produto.

A despeito dessa situação e do fato de que a matriz nacional de transporte de cargas há décadas depender fundamentalmente do suprimento regular de diesel, os estudos sobre a demanda pelo derivado no Brasil são escassos. A literatura sobre o tema no país se limita a trabalhos técnicos que buscam descrever as etapas da produção e distribuição do produto, salvo algumas exceções que serão discutidas ao longo desta dissertação.

Os trabalhos disponíveis na literatura para o mercado nacional incorporam essencialmente os estudos conduzidos por Cardoso e Jesus (2018), Reis (2016) e Luz (2015). Nesse contexto, a proposta aqui apresentada busca ampliar o conhecimento sobre o tema, trazendo contribuições metodológicas importantes ao incorporar interações espaciais no ferramental analítico empregado.

Isso posto, no presente trabalho busca-se compreender e mensurar as variáveis que impactam a demanda por diesel nos estados brasileiros, tomando como referência o período

de 2002 a 2016. Para tanto, além de uma análise lógica e sequencial sobre o assunto, serão estimadas equações de demanda por diesel utilizado no transporte, permitindo um melhor entendimento da dinâmica do consumo doméstico.

Sob o ponto de vista prático, o estudo se justifica por oferecer elementos fundamentais ao melhor planejamento dos agentes públicos e privados que atuam no setor. Adicionalmente, os resultados obtidos devem contribuir para a ampliação da literatura nacional e internacional sobre o tema, especialmente por utilizar metodologia não convencional sobre o assunto.

Além da presente introdução, o trabalho está dividido em outras quatro seções. A segunda seção traz a revisão bibliográfica, que apresenta uma contextualização sobre o mercado de diesel no Brasil, expõe a literatura disponível sobre o problema em análise e detalha os estudos que empregaram técnica semelhante àquela adotada na presente análise para a avaliação da demanda energética. A terceira seção, por sua vez, apresenta a metodologia adotada. E, por fim, a quarta e quinta seções incorporam os resultados e as discussões do estudo, respectivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mercado de diesel

O mercado brasileiro de diesel se concentra com maior expressão nas regiões Sul e Sudeste do País (Figura 1). Essas duas regiões, juntas, representaram mais de 60% de todo volume do derivado consumido domesticamente em 2018.

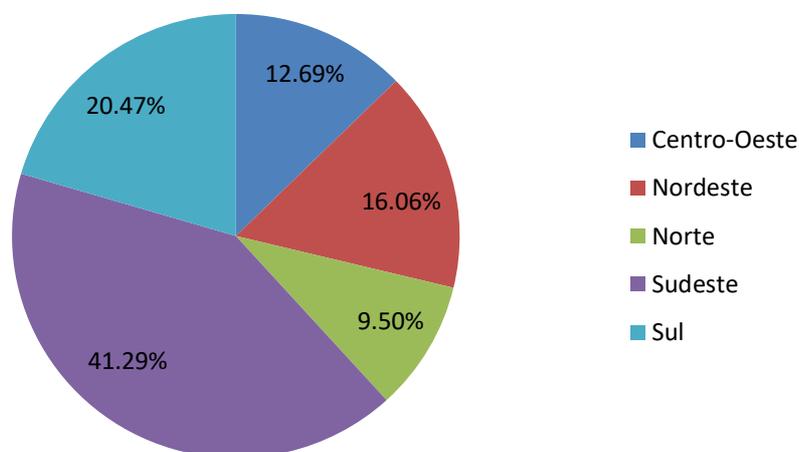


Figura 1. Consumo de diesel nas macrorregiões em 2018

Fonte: Elaborada própria com dados da ANP (2019).

A concentração do consumo nessas regiões se manteve relativamente estável nos últimos anos e se deve à maior atividade econômica nesses locais, a qual cria demanda pelo modal rodoviário para transporte de quantidade crescente de mercadorias.

Uma compreensão mais detalhada da distribuição geográfica do consumo de diesel no País pode ser observada na Figura 2. O mapa apresentado evidencia a elevada participação relativa dos Estados das regiões Sul e Sudeste, além da importância dos Estados com maior atividade agrícola nas demais regiões.

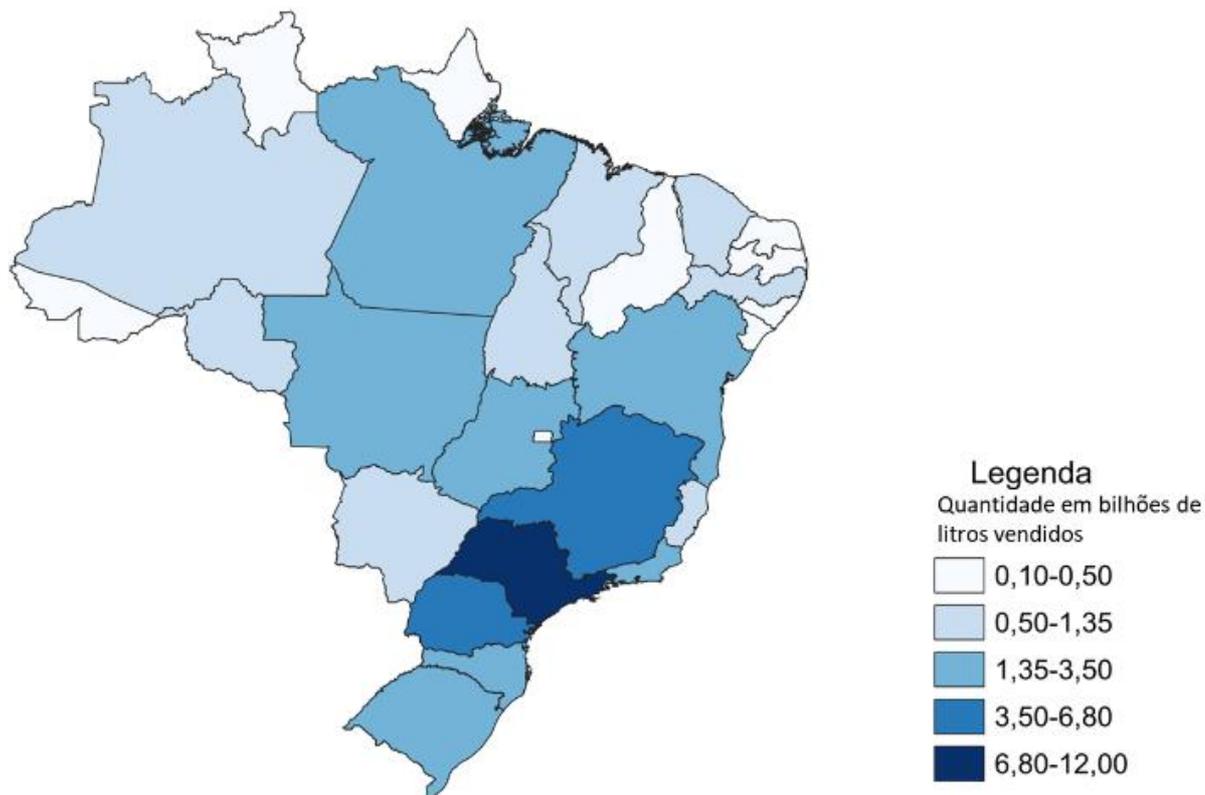


Figura 2. Participação relativa das unidades da federação nas vendas de diesel em 2018.

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Entre as atividades da economia brasileira, o diesel é predominantemente utilizado para transporte de mercadorias e passageiros. Como pode ser observado na Figura 3, o uso de diesel para transporte representou quase 90% de todo o volume comercializado domesticamente em 2018. Esse percentual pode ser obtido somando a participação do transporte propriamente dita com as vendas em TRR¹, as quais também são direcionadas prioritariamente ao uso no transporte rodoviário.

Chama atenção ainda o uso do diesel nas atividades dentro das fazendas, que consumiram cerca de 4% de todo volume comercializado no País em 2018.

¹ A sigla TRR faz referência a Transportador-Revendedor-Retalhista, que compreende empresas autorizadas pela ANP a adquirir grandes quantidades de combustível a granel, óleo lubrificante acabado e graxa envasados para depois vender para outras empresas e consumidores (ANP, 2019).

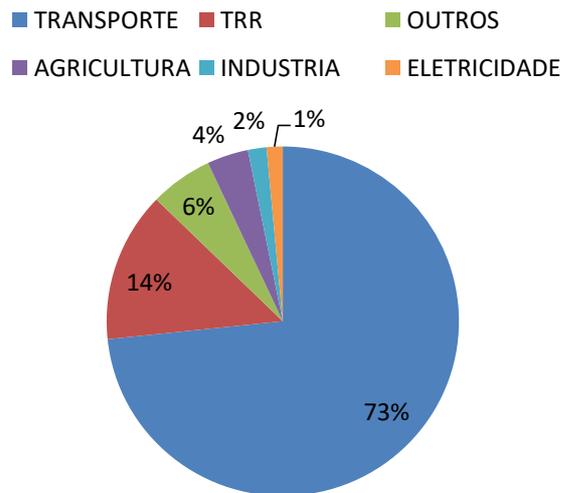


Figura 3. Consumo de diesel por atividade em 2018.

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

A Figura 4 mostra os preços médios praticados para o diesel A no Brasil. No período analisado, podemos observar que há momentos de estagnação do preço praticado, chegando a observar meses com queda nominal no valor do derivado.

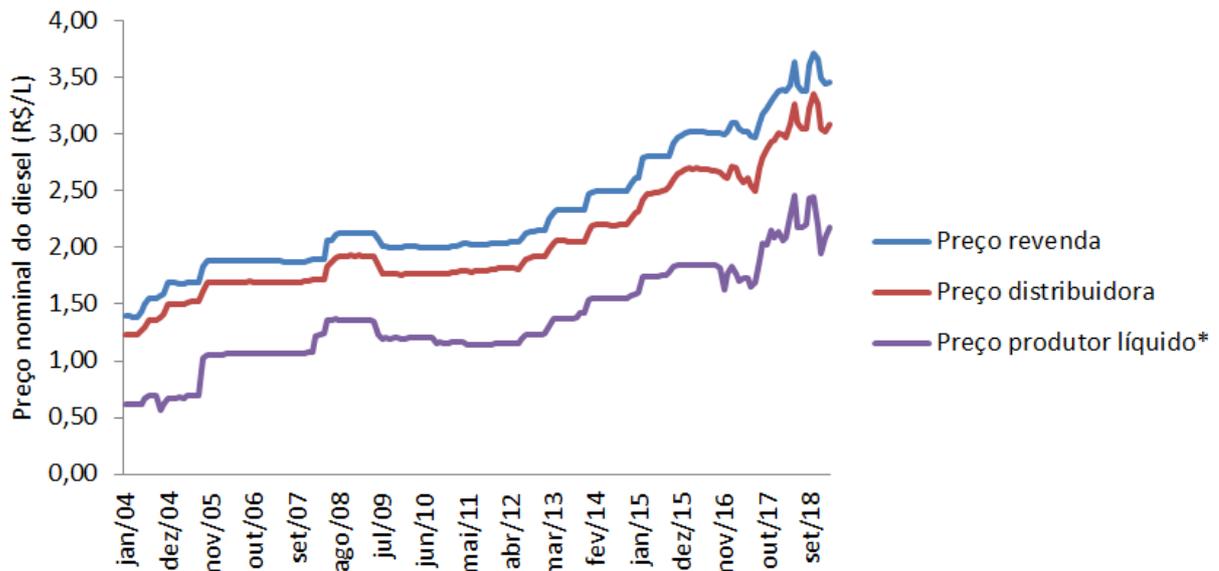


Figura 4. Preço nominal do diesel (R\$/L)

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

* preço produtor líquido calculado a partir da diferença entre o preço bruto ao produtor publicado pela ANP (2019) e os impostos que incidem na comercialização desse produto.

Essa dinâmica atípica de precificação do derivado domesticamente se deu pelo controle de preços realizado no mercado nacional em diversos momentos nos últimos anos, entre eles os períodos como os de out/2005 a jan/2008 e jul/2009 a jun/2012, como forma de conter artificialmente a evolução dos índices inflacionários. Como é possível observar na Figura 5, houve queda dos preços em termos reais após 2006.

Esse controle de preços causou uma disparidade entre o preço doméstico e o internacional, interferindo na dinâmica do mercado interno, como bem indicado por Almeida, Oliveira e Losekann (2015). O controle de preços se reflete de maneira clara na evolução do preço real do diesel A no Brasil, assim como pode ser confirmado pela figura 5.

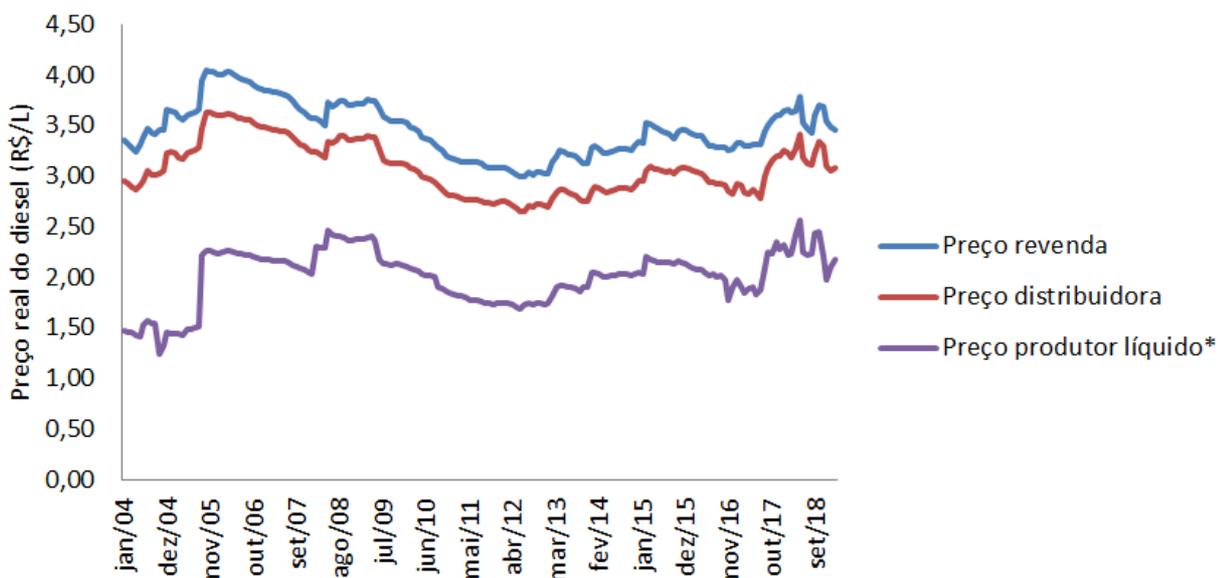


Figura 5. Preço real do diesel (R\$/L)

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

* preço produtor líquido calculado a partir da diferença entre o preço bruto ao produtor encontrado na ANP (2019) e os impostos que incidem na comercialização desse produto.

O mencionado controle de preços do diesel nas refinarias só foi possível porque o refino do derivado é altamente dependente da produção da Petrobrás. Como pode ser observado na Figura 6, o *market-share* da Petrobrás na produção doméstica de diesel se manteve superior a 95% desde o início da década de 2000, após a quebra do monopólio no setor de refino.

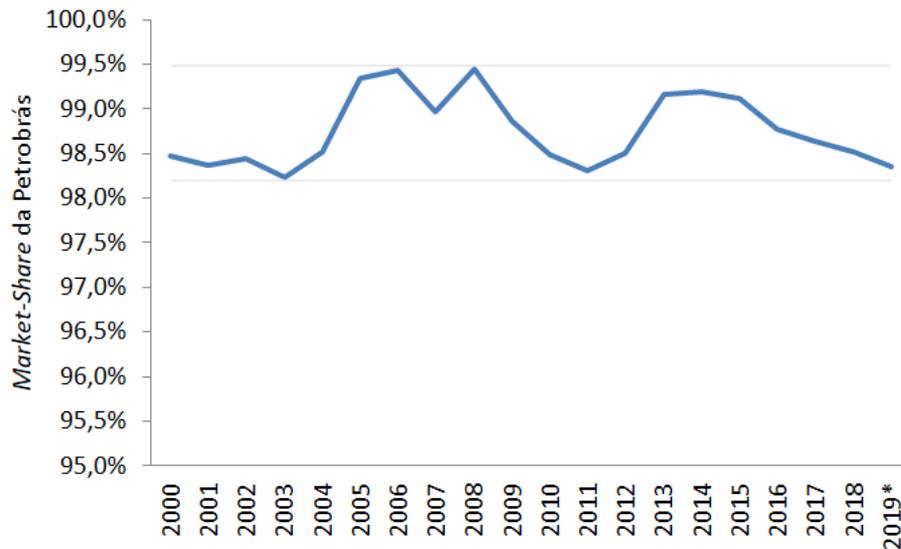


Figura 6. Market-share da Petrobras no refino nacional de diesel

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

* para o ano de 2019 foram utilizados dados até o mês de fevereiro apenas

Nesse ponto cabe mencionar ainda, que mais de 70% do preço do diesel na bomba é composto pelo preço na refinaria e pelos tributos cobrados sobre o derivado (tanto os tributos federais quanto estaduais cobrados sobre o diesel são recolhidos integralmente pelas refinarias e importadores). A Figura 7 detalha a composição recente do preço do diesel no mercado nacional.

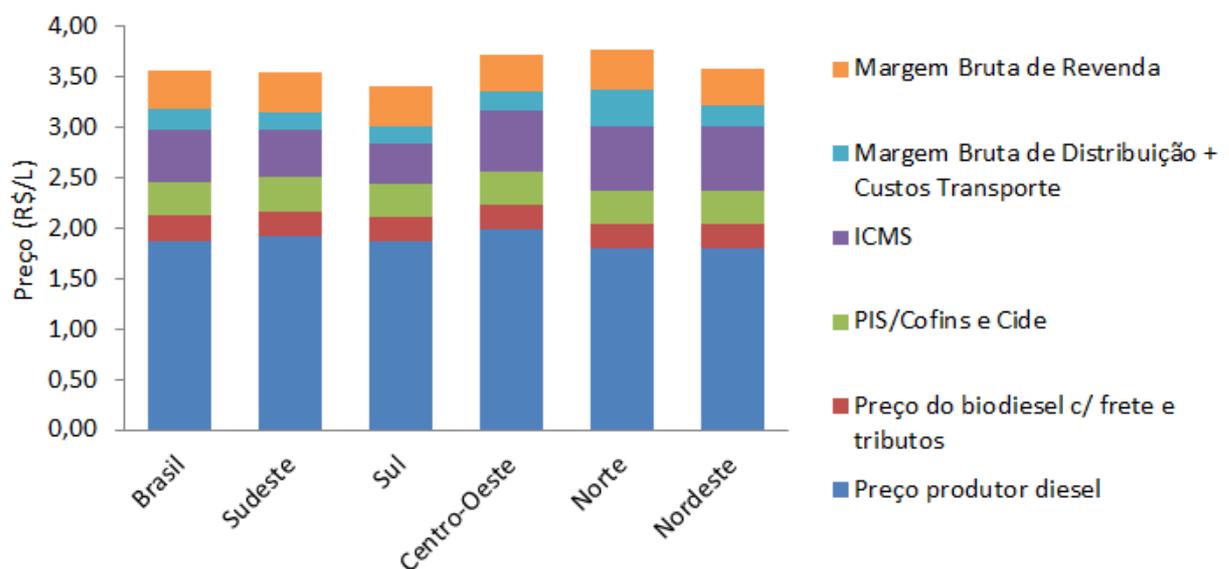


Figura 7. Estrutura de formação do preço do diesel em fevereiro de 2019

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Em termos de suprimento doméstico, o País, a partir de 2009, passou a importar volume crescente de diesel para atendimento do consumo interno (Figura 8). Isso fez com que a importação do produto fosse responsável por mais de 20% das vendas domésticas do derivado em alguns períodos (Figura 9).

Essa representatividade das importações no consumo interno só foi reduzida nos anos recentes em decorrência da retração de consumo do derivado promovida pela crise econômica vivenciada pelo país.

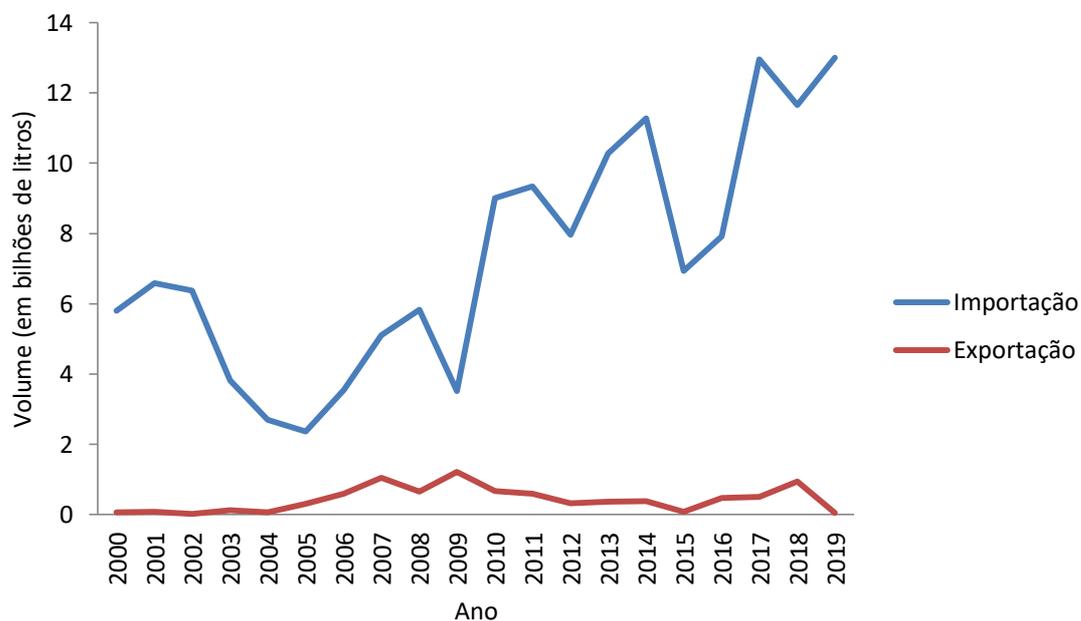


Figura 8. Importação e Exportação de diesel no Brasil (em bilhões de litros)

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

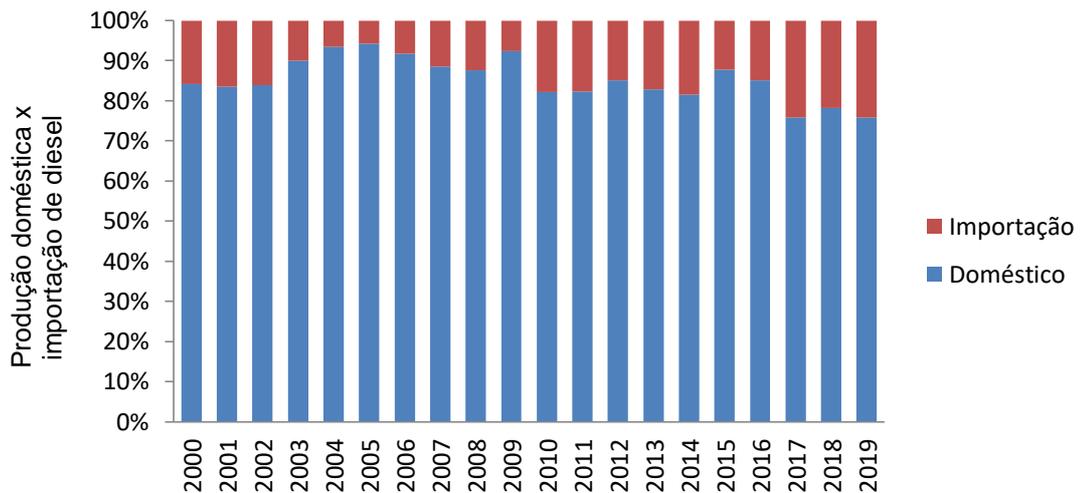


Figura 9. Relação entre importação e o consumo doméstico de diesel.

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Outro aspecto diferenciado do mercado nacional se refere à participação do biodiesel misturado ao derivado comercializado domesticamente. Como pode ser visto na Figura 10, a obrigatoriedade da mistura do biodiesel no diesel permitiu um crescimento expressivo no consumo do biocombustível. A saber, em 2018 todo o diesel comercializado domesticamente possuía 10% de biodiesel (ANP, 2019).

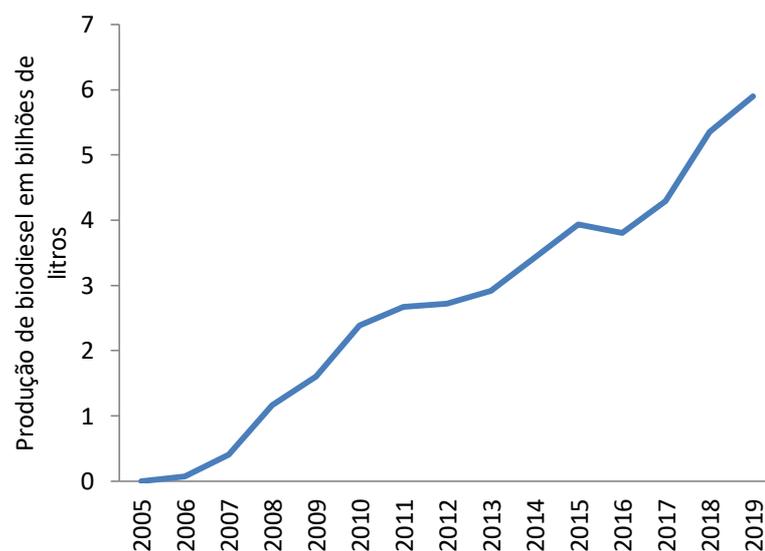


Figura 10. Produção de biodiesel em bilhões de litros.

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Essa breve descrição do mercado de diesel no País evidencia a importância da atividade de transporte na demanda pelo derivado. Nesse contexto, se destaca o modal

rodoviário que, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), representou 61% das cargas e 95% dos passageiros transportados em 2018.

A essa condição, acrescenta-se que, em média, os caminhões em operação no mercado nacional trafegam mais de 140 mil km/ano (ESALQ-LOG, 2019; ANTT, 2019). Assim, considerando que a diferença média entre as capitais dos estados vizinhos é de 840 km (Agility Logistics, 2019), fica evidente que a distância média percorrida pelos caminhões permite o deslocamento frequente entre as diferentes unidades da federação.

Esse cenário justifica a proposta metodológica sugerida pelo presente estudo, que deve avaliar a demanda assumindo a possibilidade de correlação espacial entre os diferentes Estados. Considerando a dinâmica apresentada, é natural se esperar que o preço de um Estado possa impactar a demanda por diesel em outro. De forma equivalente, a atividade econômica em uma determinada região pode gerar alteração no consumo de diesel em outra localidade na qual os caminhões trafegaram.

2.2. Literatura disponível sobre a demanda por diesel

De acordo com Huntington, Barrios e Arora (2017), há, na literatura internacional, uma reduzida quantidade de trabalhos que analisam a demanda por diesel quando comparamos com as demais fontes de energia e combustíveis. Em sua pesquisa, os autores verificaram que dos 258 trabalhos que estimaram a demanda, apenas 5 (1,93%) estimaram a demanda por diesel.

Isso posto, nessa seção foi realizado esforço para identificar e promover uma discussão acerca dos trabalhos mais relevantes que possuíam como objeto de estudo do mercado de diesel.

2.2.1. Estudos para o mercado brasileiro

Alguns trabalhos estimaram a elasticidade de preço e elasticidade da renda da demanda por diesel no mercado nacional, tanto para curto e como para o longo prazo. A Tabela 1 traz resumidamente os resultados desses estudos.

Tabela 1. Elasticidades estimadas para o mercado brasileiro de diesel.

Autor	Período de Avaliação	<u>Elasticidade</u>		<u>Elasticidade</u>		Metodologia	Outras Variáveis
		<u>Renda</u>		<u>Preço</u>			
		Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo		
Cardoso e Jesus (2018)	2003 – 2018	0,40	1,18	-0,16	-0,46	Modelo de ajustamento parcial	-
Reis (2016)	2001 – 2012	0,63	-	-0,27	-	Regressão linear múltipla	-
Luz (2015)	2001 – 2014	0,70	0,90	-0,30	-0,40	Modelos de séries temporais com correção de erros (ECM)	<i>Dummies</i> para os trimestres
Iooty et al. (2009)	1970 – 2015	1,01	-	-0,63	-	LA-AIDS	Preços da gasolina e do GNV e share dos gastos dos combustíveis na renda
Dahl (2012)*	1971 – 2016	0,90	-	-0,32	-	Diversas metodologias ²	-

Fonte: Elaboração própria com literatura estudada.

* O estudo estimou elasticidades para diversos países.

Dentre os trabalhos disponíveis, Cardoso e Jesus (2018) utilizaram dados mensais, com um modelo de ajustamento parcial, que é estimado por meio de Variáveis Instrumentais, para encontrar as elasticidades de curto e longo prazo por diesel. Os autores identificaram que a demanda pelo derivado é inelástica a preço e apresenta elasticidade superior a uma unidade no caso da renda.

Reis (2016), por sua vez, estruturou as estimativas de demanda tendo como principal objetivo identificar os impactos ambientais da emissão de CO₂ no setor de transporte brasileiro. Para tanto, o autor estimou um modelo de regressão linear múltipla para estudar o comportamento do consumo de combustíveis no mercado nacional.

² O artigo analisa o resultado de diversos artigos, nos quais não é disposta a metodologia utilizada. Para as elasticidades estimadas pelo artigo, não sendo esse o caso brasileiro, foi utilizada uma regressão linear múltipla.

Uma das principais conclusões de seu trabalho é o fato de que, para o mercado brasileiro, o diesel é menos sensível a variações no preço que os outros dois combustíveis, gasolina e etanol. Isso se dá pela grande presença da frota flex rodando atualmente no país, o que faz com que a gasolina e o etanol sejam substitutos. A substituição desses combustíveis por diesel, entretanto, é praticamente nula, visto que não é permitida a comercialização de automóveis movidos a diesel no mercado nacional³.

No trabalho elaborado por Luz (2015), foram testados diversos modelos de projeção de consumo de diesel. Entre as conclusões obtidas pelo autor, cabe mencionar a identificação do preço e da renda, mensurada a partir do PIB, como as variáveis com maior relevância na determinação do consumo de diesel.

Ao modelar demandas regionais, Luz (2015) encontrou diferenças significativas entre os estados da federação. De acordo com o autor, a modelagem desagregada entre os Estados apresentou melhores projeções se comparada com os resultados obtidos a partir dos modelos agregados nacionalmente. Adicionalmente, o autor observou que a inclusão do PIB agrícola foi fundamental para explicar sazonalidade observada para o consumo de diesel no país.

Iooty et al. (2009), por outro lado, utilizaram dados anuais para o período compreendido entre 1970 e 2015 e a modelagem de demanda baseada em um modelo LA-AIDS (uma aproximação linear de uma demanda quase ideal). Esse modelo é utilizado por possuir uma especificação e metodologia que se alinham de forma mais direta com a teoria de demanda, tendo como principais parâmetros estimados o *share* de gastos com cada produto demandado.

Em seu artigo, Iooty et al. (2009) ressaltam a importância do diesel na dinâmica do consumo de combustíveis no Brasil. Os resultados também indicaram que existia elevada elasticidade de substituição entre gasolina e etanol, mas baixo grau de substituição entre esses produtos e o diesel. Por conta da dinâmica nacional de transportes, esse resultado já era esperado.

³ A proibição do uso do diesel em veículos leves no Brasil se deu pela portaria nº 346, de 19 de novembro de 1976, do Ministério da Indústria e Comércio. Essa portaria foi substituída pela portaria 23 do Departamento Nacional de Combustível-DNC, em 6 de junho de 1994. Atualmente, a Resolução 25/98 do CONTRAN somente autoriza o emplacamento de veículos movidos diesel se os mesmos atenderem as normas definidas na portaria 23/1994 do DNC.

Apesar de conduzirem pesquisas com objetivos distintos na análise do mercado brasileiro de diesel, os resultados obtidos por esses autores indicam que a demanda por diesel é inelástica a preço tanto no curto, como no longo prazo. No caso da renda, os resultados não são conclusivos, visto que alguns estudos encontraram parâmetros superiores a uma unidade.

2.2.2. Estudos sobre o mercado de diesel na literatura internacional

Entre os artigos publicados sobre os mercados de combustível, vale mencionar o estudo conduzido por Dahl (2012), que sintetiza os resultados encontrados na literatura para os mercados de gasolina e diesel em diversos países.

Os resultados encontrados nos artigos analisados pela autora indicam que a mediana das elasticidades preço da demanda por diesel foi de -0,16, já a média foi mais elástica, fazendo com que a distribuição seja assimétrica à esquerda (Figura 11).

A partir dos valores apresentados, é possível notar que a média das elasticidades encontradas em trabalhos no mercado brasileiro se assemelha àquelas obtidas em outros países. Em ambos os casos, é sugerido que a demanda pelo Diesel é inelástica, pois a elasticidade do diesel (e_d) pertence ao intervalo $-1 < e_d < 0$.

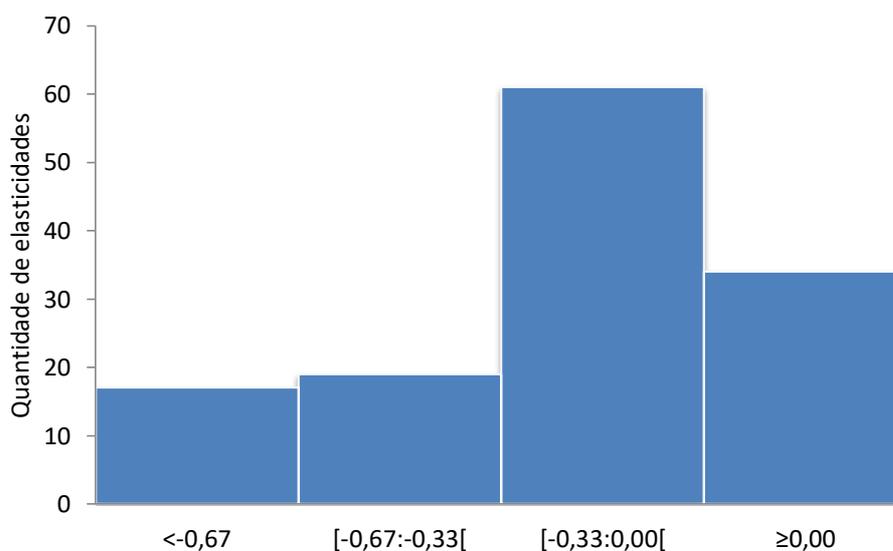


Figura 11. Elasticidades preço da demanda.

Fonte: adaptado de Dahl (2012)

A dispersão das elasticidades observadas no histograma apresentado na Figura 11 se deve, entre outros aspectos, às condições diferenciadas dos países em termos de desenvolvimento, renda média da população e preços de diesel. Em seu artigo, Dahl (2012) mostra que países mais pobres, com um PIB per capita menor do que quinze mil dólares, apresentam elasticidade preço da demanda menor, em média, do que aqueles com mais do que esse valor de PIB per capita. Uma das justificativas para essa diferença é como o aumento de renda nesses países afeta de maneira diferente o número de veículos que transitam nas cidades.

A distribuição da elasticidade renda da demanda por diesel, por sua vez, possui um comportamento diferente. Entre os trabalhos analisados por Dahl (2012), foram obtidos valores no intervalo entre 0,67 e 1,33, não permitindo concluir de forma direta que a demanda por diesel é inelástica em relação à renda (Figura 12).

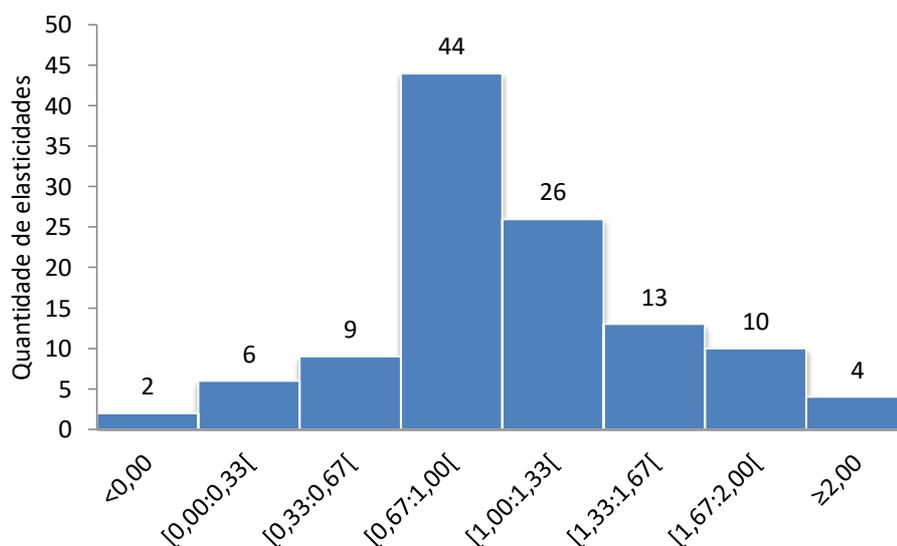


Figura 12. Elasticidades renda da demanda

Fonte: adaptado de Dahl (2012)

Outro trabalho que traz estimativas de demanda por diesel em diferentes países é o conduzido por Akilu (2016). Em seu estudo, o autor estima a elasticidade preço e renda da demanda por gasolina e diesel para 26 diferentes países europeus.

Entre os valores encontrados, constatou-se que a elasticidade de preço da demanda por diesel para o curto prazo se concentrou em torno de -0,14 e a elasticidade renda obteve

valores variando de 0,5 e 1,0. Os valores médios de longo prazo foram -0,49 e 1,36 para elasticidade preço e renda, respectivamente.

Em linhas gerais, é possível concluir que os parâmetros obtidos pelos escassos trabalhos conduzidos no mercado nacional são semelhantes àqueles disponíveis na literatura internacional para países com características similares ao Brasil.

2.2.3. Detalhamento dos estudos que estimaram a demanda por diesel a partir de dados em painel

As séries utilizadas no presente trabalho são configuradas de maneira a formarem um painel de dados, obtendo diferentes informações ao longo do tempo para as unidades da federação.

Assim, nessa seção, buscando apresentar elementos que possam ser úteis à análise que será conduzida neste estudo, é apresentada uma síntese de trabalhos que estimaram a demanda por diesel a partir de metodologia similar àquela empregada na presente avaliação.

De acordo com a investigação realizada por Huntington, Barrios e Arora (2017), há na literatura internacional uma reduzida quantidade de estudos que utilizam dados em painel quando comparamos com os demais. Dos 258 trabalhos analisados pelos autores, apenas 19 (7,36%) utilizaram dados em painel para estimar a demanda por combustíveis. Dessa parcela, nenhum dos estudos utilizou dados em painel para estimar especificamente a demanda por diesel.

Nesse contexto, Pisa (2012) adotou duas metodologias distintas para estimar a demanda pelo derivado. O primeiro método consistiu em uma regressão linear múltipla para cada um dos países avaliados. O segundo, por sua vez, adotou um modelo em painel com efeitos fixos.

Comparando os dois métodos, o autor conclui que há um ganho de significância estatística nos parâmetros estimados quando usado o método de efeitos fixos. Como conclusões, o autor verificou que a elasticidade de renda foi 1,29 e a elasticidade de preço da demanda por diesel foi de -0,47.

Em Zimmer e Koch (2016), foram estimados três modelos utilizando estimadores distintos para dados em painel, foram eles: efeitos fixos, Arellano-Bond e o método de

momentos generalizados. Os três modelos forneceram resultados similares, o que demonstra certa estabilidade dos métodos para grandes amostras.

Dentre os parâmetros estimados, chamam atenção as evidências de que no longo prazo o diesel seria mais responsivo a mudanças de preços do que os trabalhos estruturados a partir de modelos com dados em cross-section ou séries temporais sugerem.

González-Marrero, Lorenzo-Alegría e Marrero (2012), após por ter estimado quatro modelos diferentes para a demanda por diesel (regressão linear múltipla com dados empilhados, efeitos fixos, método dos momentos generalizados e método dos momentos generalizados em diferenças), constataram que o método dos momentos generalizados atenuou o problema de variável instrumental fraca encontrada no conjunto de dados que foram utilizados.

Isso posto, a Tabela 2 traz uma síntese dos resultados obtidos pelos estudos internacionais que estimaram a demanda por diesel a partir de dados em painel.

Tabela 2. Elasticidades estimadas para o diesel utilizando dados em painel.

Autor(es)	País(es) avaliado(s)	Período de Avaliação	<u>Elasticidade</u>		<u>Elasticidade</u>		Outras Variáveis
			<u>Renda</u>		<u>Preço</u>		
			Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	
Pisa (2012)	6 Países europeus ⁴	2005-2012	1,29	-	-0,47	-	Preço real do petróleo
Zimmer e Koch (2016)	16 Países europeus ⁵	1990-2012	1,06	-	-0,17	-0,66	Quantidade total de veículos circulando
González-Marrero et al. (2012)	Espanha	1998-2006	0,04*	-	-	0,03*	Frota movida a gasolina, frota movida a diesel e frota total dividida pelo tamanho da estrada

Fonte: Elaboração própria com literatura estudada.

* Variáveis não significativas a um nível de 5%

⁴ Áustria, República Tcheca, Alemanha, Hungria, Polônia e Eslováquia.

⁵ Áustria, Bélgica, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Hungria, Itália, Holanda, Noruega, Polônia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido.

2.3. Estudos de demanda com o emprego de econometria espacial

Como descrito anteriormente, no mercado brasileiro o consumo de diesel é predominantemente realizado por caminhões que, em grande medida, percorrem diferentes Estados. Essa condição sugere que o preço, a renda e outras variáveis de um estado possam influenciar o consumo de diesel em outra unidade da federação. Essa situação exige que seja testada a correlação espacial entre as variáveis de análise e utilizados modelos que possam incorporar essa informação nas estimativas.

Assim, a análise remete aos modelos de econometria espacial, que se consubstancia como um ramo da econometria que busca especificar, estimar, testar e prever modelos teóricos que incorporam a relação dinâmica espacial associada ao fenômeno e a sua influência nos resultados (Almeida, 2012).

Mesmo considerando que não existem estudos que estimaram a demanda por diesel utilizando essa abordagem metodológica, nessa seção são apresentados alguns estudos que estimaram modelos para o mercado de combustíveis e energia incorporando a possibilidade de interação espacial entre as unidades de análise. Alguns modelos e trabalhos serão discutidos a seguir.

Santos e Faria (2012) estimaram três tipos de modelos de econometria espacial, o modelo de defasagem espacial (modelo SAR), o modelo de erro autoregressivo espacial (modelo SEM) e o modelo de defasagem espacial com erro autoregressivo espacial (modelo SAC). Os modelos possuem pressuposições diferentes, no caso do SAR há uma relação de interdependência entre as variáveis dependentes vizinhas; para o SEM, essa relação de interdependência se dá em relação aos erros dos vizinhos; e no SAC ela é tratada a partir de uma combinação entre os dois modelos anteriores.

Em seu trabalho, Santos e Faria (2012) tinham como objetivo estudar a demanda por combustíveis leves no Brasil levando em consideração a interação espacial entre os 27 estados brasileiros. No modelo de defasagem espacial (SAR), foi constatada a existência de efeitos *spillovers* entre as demandas dos estados.

Utilizando as 27 unidades da federação e o período de 2001 a 2011 com dados mensais, Cardoso et al. (2014) também estimaram a demanda por combustíveis leves utilizando econometria espacial, tendo como variáveis preço do etanol, preço da gasolina, frota e a renda. Assim como no trabalho citado anteriormente, foram testados diversos modelos pelos autores, incluindo dois modelos com dados empilhados, modelos estimados

com mínimos quadrado ordinários (MQO) e sistemas estimados a partir do emprego da técnica de mínimos quadrados generalizados (MQG), além de outros seis com dados em painel utilizando econometria espacial.

O uso de MQG e de modelos utilizando econometria espacial se mostrou eficaz para atenuar o problema de forte dependência entre as unidades cross-section na estimação dos parâmetros de MQO.

O trabalho realizado por Lagarde (2018), por sua vez, procurou estudar como o consumo energético, com o enfoque em energia eólica, dependem de aspectos espaciais. Um tema tratado no artigo que merece atenção é o fato de que há diversos trabalhos que deixam de avaliar impactos espaciais, permitindo a obtenção de estimativas com potencial de viés.

Em Eleftheriou, Nijkamp e Polemis (2018), foi realizada uma discussão a partir de um modelo de correção de erro espacial assimétrico sobre a transmissão de preços da gasolina dentro da cadeia de valor nos Estados Unidos. O estudo ressaltou a sua importância pela sofisticação da metodologia utilizada, reiterando que na literatura empírica atual os modelos com controle espacial são de grande relevância.

O fenômeno estudado por Allan e McIntyre (2016) utilizando ferramentas de econometria espacial remete ao aumento do uso de fontes renováveis de energia, principalmente de origem fotovoltaica, nos domicílios do Reino Unido. Como resultado do estudo, os autores identificaram que não só as variáveis explicativas selecionadas, como escolaridade, taxa de desemprego, irradiação solar, entre outras, explicaram a quantidade de instalações de fontes de energia renováveis nas casas, como também a interação espacial contribuiu de maneira expressiva na compreensão do fenômeno.

Como citado anteriormente, a metodologia de econometria espacial não se aplica apenas a casos com dados em painel, mas também em problemas de dados *cross-section*. Esse é o caso do estudo conduzido por Kim e Zhang (2005), em que são estimados modelos utilizando mínimos quadrados ordinários que possuem uma matriz de ponderação espacial em sua estimação. Os autores também concluíram que a presença de componentes espaciais permitiu um melhor ajuste dos modelos avaliados.

O conceito de modelos de econometria espacial envolve o modo como eles aceitam e incluem aspectos espaciais nos sistemas estruturados, e não com a estimação em si. Há diversos modos de estimar os modelos de econometria espacial, um exemplo, utilizado em grande maioria dos trabalhos apresentados até então, é a estimação por mínimos quadrados

ordinários (MQO). Outro procedimento, utilizado em trabalhos como Poon, Casas e He (2013) e Pirotte e Madre (2011), é a estimação por máxima verossimilhança.

Pirotte e Madre (2011) utilizaram diversos modelos de dados em painel com base em efeitos fixos e aleatórios para investigar como a quantidade de quilômetros rodados por um carro é determinada. O uso de modelos como os de efeitos fixos e aleatórios se mostrou bastante frequente dentre da literatura levantada pelos autores.

Para estudar o impacto do uso de fontes de energia no aumento da poluição em cidades chinesas, Poon, Casas e He (2013) utilizaram o EKC (*Environmental Kuznets Curve*) com modelos espaciais. A interação espacial entre as cidades se provou bastante presente dada a interação econômica-social entre elas.

Outro artigo que utilizou o EKC com modelos de econometria espacial foi aquele desenvolvido por Balado-Naves, Baños-Pino e Mayor (2018). Eles utilizaram o modelo SLX (spatial lag of X), que incorpora a matriz de ponderação espacial nas variáveis explicativas, e o SDEM (spatial Durbin error), para analisar a relação entre o aumento de poluição e a influência dos países vizinhos nesse crescimento.

O uso de econometria espacial para solucionar problemas de estimação de demanda por combustíveis também se faz presente na literatura internacional. No trabalho conduzido por Khachatryan, Yan e Casavant (2011), foi estimado uma *geographically weighted regression* ou GWR para avaliar a demanda por E85 (85% etanol e 15% gasolina) nos Estados Unidos.

Ainda dentro da literatura de estudos sobre demanda por combustíveis, Filippini e Heimsch (2016) estimaram a demanda por gasolina utilizando econometria espacial para avaliar qual foi o impacto de uma taxa sobre emissão de gases causadores do efeito estufa na demanda pelo combustível. Como conclusão, os autores identificaram que a elasticidade preço da demanda por gasolina se mostrou bastante heterogênea entre os estados.

Para estudar se há um padrão espacial no nível de eficiência ecológica energética entre as regiões da China, Guan e Xu (2016), também utilizaram econometria espacial. Na discussão dos resultados, os autores citam a importância de compreender o porquê de esses padrões espaciais serem relevantes. Dentro do cenário da pesquisa, mostrou-se evidente o fato de haver uma grande integração entre as regiões, evidenciando que barreiras geográficas não impedem a interação entre as regiões em aspectos socioeconômicos.

Utilizando o SDM (spatial Durbin model), Bowen e Lacombe (2017) estimaram os efeitos diretos e indiretos (spillovers) de como políticas de portfólio de energias sustentáveis afetam a geração de energia de um estado e de seus vizinhos.

O uso do SDM é notadamente útil em trabalhos que possuem como objetivo estimar os efeitos diretos e indiretos.

Dentre os trabalhos de econometria espacial, existem ainda estudos que utilizam esse tipo de ferramental para estimar modelos de previsão. Por exemplo, Cabral, Legey e Cabral (2017) estimaram um ARIMAsp (modelo espacial ARIMA) com o objetivo de avaliar o consumo de energia no Brasil tendo como unidades cross-section as cinco macrorregiões brasileiras.

Outro detalhe importante quando tratamos de modelos de econometria espacial é que um mesmo modelo pode ter diferentes especificações. Assim como evidenciado pelo estudo de Thanos, Kamargianni e Schäfer (2017), que estimaram o modelo SDM com três especificações diferentes: com lags espaciais e espaço-temporais, com difusão espacial e a última especificação com difusão espacial e assimetrias.

Dados os trabalhos aqui discutidos, a Tabela 3 traz um resumo dos estudos que utilizaram modelos de econometria espacial, tendo como informações o período de análise, a quantidade de unidades cross-section (n), a periodicidade dos dados e os modelos espaciais utilizados.

Tabela 3. Resumo dos trabalhos com Econometria Espacial no setor de combustíveis e energia.

Autor(es)	Período de Análise	n⁶	Periodicidade	Modelos Espaciais⁷
Kim e Zhang (2005)	2003	731	<i>cross-section</i>	SAR-MQO, SEM-MQO, SAC-MQO
Khachatryan, Yan e Casavant (2011)	2003-2008	98	Mensal	GWR
Priotte e Madre (2011)	1973 - 1999	21	Annual	SAR-FE, SEM-FE, SAR-RE, SEM-RE
Santos e Faria (2012)	Julho 2001 – Dezembro 2010	27	Trimestral	SAR-MQO, SEM-MQO, SAR-FE, SEM-FE, SAR-RE, SEM-RE, SAC-RE
Poon, Casas e He (2013)	1998 - 2004	30	Annual	SAR-MLE, SEM-MLE
Cardoso et al. (2014)	Julho 2001 - Julho 2011	27	Mensal	SAR-FE, SAR-RE, SDM-FE, SDM-RE, HP-SAR, HP-SDM
Allan e McIntyre (2016)	Abril 2010 - Junho 2012	326	Mensal	SDM, SDEM
Filippini e Heimsch (2016)	2001 - 2008	547	Annual	SARAR
Guan e Xu (2016)	1997 - 2012	30	Annual	SAR-MQO, SEM-MQO
Bowen e Lacombe (2017)	1990 - 2012	48	Annual	SAR-MQO, SEM-MQO, SLX-MQO, SDM-MQO, SDM-FE(t), SDM-FE, SDM-FE(t and n)
Cabral, Legey e Cabral (2017)	Janeiro 2003 – Dezembro 2013	5	Mensal	ARIMAsp
Thanos, Kamaragianni e Schäfer (2017)	2005 - 2013	105	Annual	SDM
Balado-Naves, Baños-Pino e Mayor (2018)	1990 - 2014	173	Annual	SDEM EKC, SLX EKC
Castro (2018)	1980 - 2010	212	Annual	SAR-MQO
Eleftheriou, Nijkamp e Polemis (2018)	Janeiro 2012 – Dezembro 2015	7	Diário	ASPECM
Lagarde (2018)	Janeiro 1998 - Junho 2016	21	Annual	SAC-FE

⁶ n representa o número de unidades *cross-section* utilizadas.

⁷ As siglas dos modelos espaciais estão descritas na lista de abreviaturas e siglas de maneira extensa. De modo geral siglas como SAR, SEM, SAC, SLX, SDM, SDEM dispõem sobre os modelos espaciais e siglas como MQO, RE, FE dispõem sobre o método de estimação utilizado. As demais siglas fazem referências sobre determinadas especificações.

3. METODOLOGIA

Nesta seção, serão apresentados os dados utilizados e os modelos empíricos que serão estimados para atender o objetivo proposto inicialmente.

3.1. Descrição dos dados

Os dados de consumo e preços de diesel por Estado da Federação foram obtidos junto à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019).

Adicionalmente, foram coletadas séries que retratam a atividade econômica com possível impacto no consumo do diesel. Especificamente, se utilizou PIB anual por Estado publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) e o valor bruto da produção Agropecuária estadual, também disponibilizado pelo Instituto (IBGE, 2019).

Para testes na etapa de identificação do modelo, foram incluídas variáveis que retratam um possível efeito das exportações de produtos sobre a demanda estadual por diesel. Assim, os estados com terminais portuários foram identificados a partir de dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2019). O valor exportado anualmente por cada unidade federativa foi obtido por meio de informações disponibilizadas pelo Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2019).

Por fim, as séries monetárias foram convertidas para valores reais de dezembro de 2016 e as quantidades que estavam em valores absolutos foram convertidas em valor *per capita*. Para tanto, se utilizou o IGP-DI anual obtido por meio da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2019) e a população anual de cada Estado, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Os dados serão utilizados de maneira a construir um painel com 27 unidades federativas ao longo de 15 anos, somando 405 observações.

Para uma maior compreensão das variáveis, a Tabela 4 apresenta a estatística descritiva das séries que serão utilizadas nos modelos.

Tabela 4. Estatística descritiva das variáveis adotadas tomando-se os valores médios para o Brasil (valor anual).

Variáveis	Descrição	Medido em	Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo
Consumo	Consumo de diesel	Litros <i>per capita</i>	262,23	151,81	849,73	66,44
Preço	Preço do diesel*	R\$	3,15	0,33	4,37	2,43
Renda	PIB <i>per capita</i> *	R\$ <i>per capita</i>	23.356,26	13.901,31	83.141,62	5.934,17
Exportação	Valor exportado*	R\$ <i>per capita</i>	929,82	1.050,58	6.079,88	7,19
Agro	Valor bruto da agropecuária*	R\$ <i>per capita</i>	1.487,00	1.332,92	7.588,25	130,69

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

* Séries convertidas para valores reais de dezembro de 2016, tendo como deflator o Índice Geral de Preços (IGP-DI) publicado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2019).

Por conta da natureza das variáveis, elas serão discutidas uma a uma, para que se possa ter uma melhor apresentação das séries utilizadas.

Em relação ao consumo, que é medido em litros de diesel *per capita*, ao longo da série é possível uma concentração de grandes níveis de consumo na região centro-oeste do Brasil. O consumo sofre um aumento no período analisado, mas a representatividade de cada estado não se altera de maneira significativa, assim como podemos observar na Figura 13.

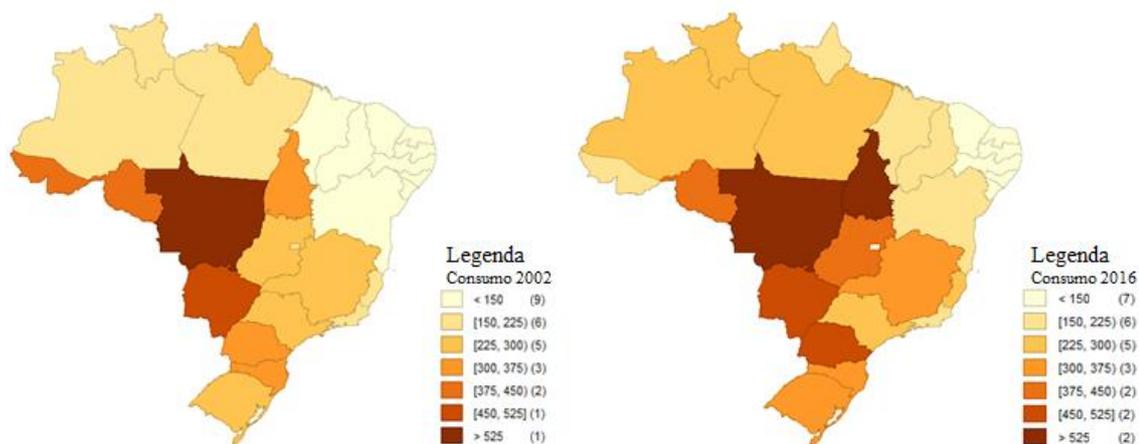


Figura 13. Descrição espacial da variável consumo (em litros de diesel *per capita*).

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANP (2019).

A Figura 14, por sua vez, apresenta a evolução da variável em todos os períodos de maneira agregada para todas as macrorregiões, permitindo uma melhor avaliação das mudanças ocorridas ao longo do período analisado.

A partir dessas informações, fica evidente que o centro-oeste apresenta o maior consumo médio de todas as macrorregiões. O Nordeste, por sua vez, apresenta a menor média de consumo anual.

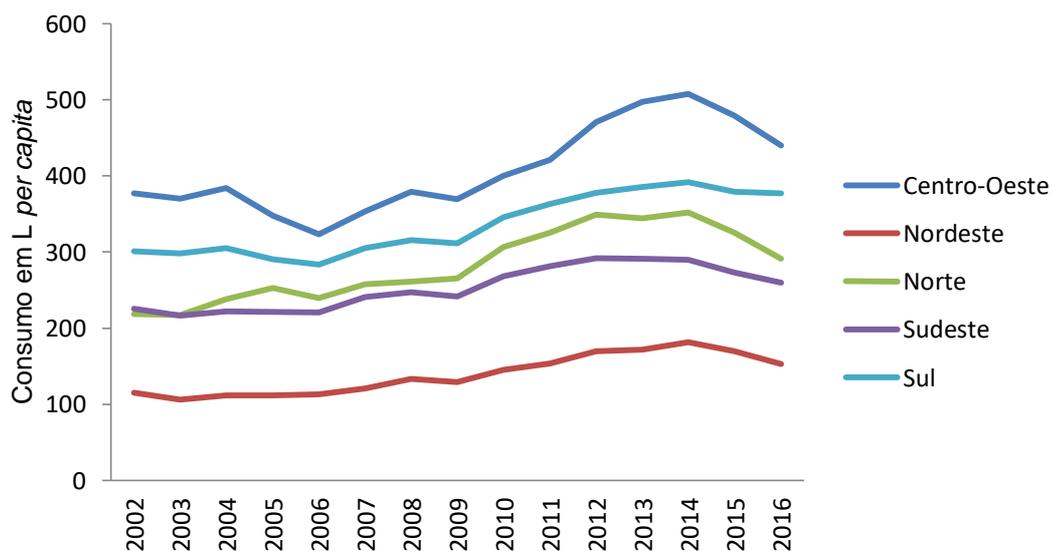


Figura 14. Evolução da variável consumo (litros de diesel *per capita*) por macrorregião.

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANP (2019).

Sobre a variável preço, medida em reais por litros (R\$/l), vale ressaltar que os valores aqui trabalhados foram encontrados ponderando o preço mensal de cada estado pelo consumo do respectivo estado naquele mês para ter como resultado o preço anual por unidade federativa.

Na Figura 15, é possível observar novamente um preço mais elevado no Centro-Oeste e em estados do Norte do País.

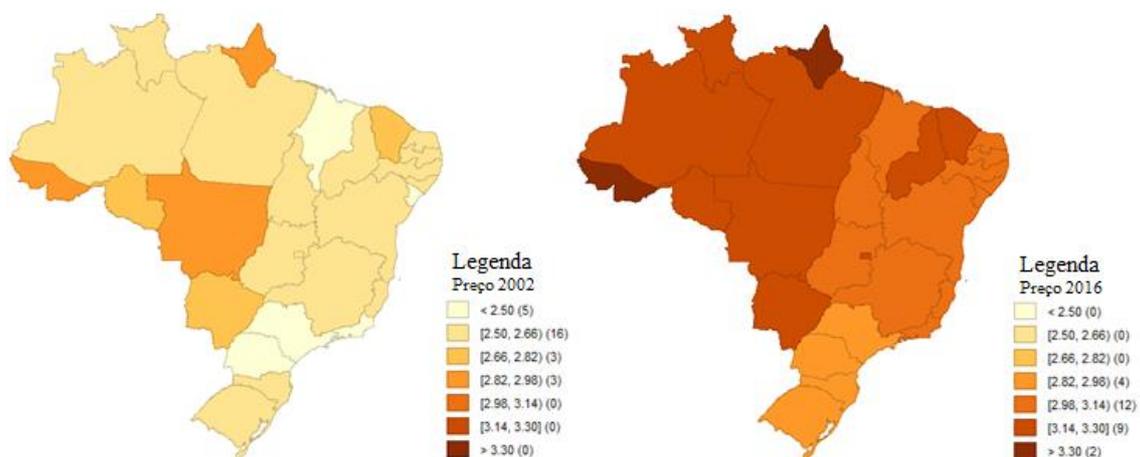


Figura 15. Descrição espacial da variável preço (em R\$/L).

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANP (2019).

Observando por meio da Figura 16, fica claro que a dinâmica do preço se deu de maneira aparentemente homogênea entre as macrorregiões. Assim como foi discutido por Almeida, Oliveira e Losekann (2015), um dos sintomas do controle de preços é essa variação similar, mantendo as regiões na mesma posição relativa de modo geral.

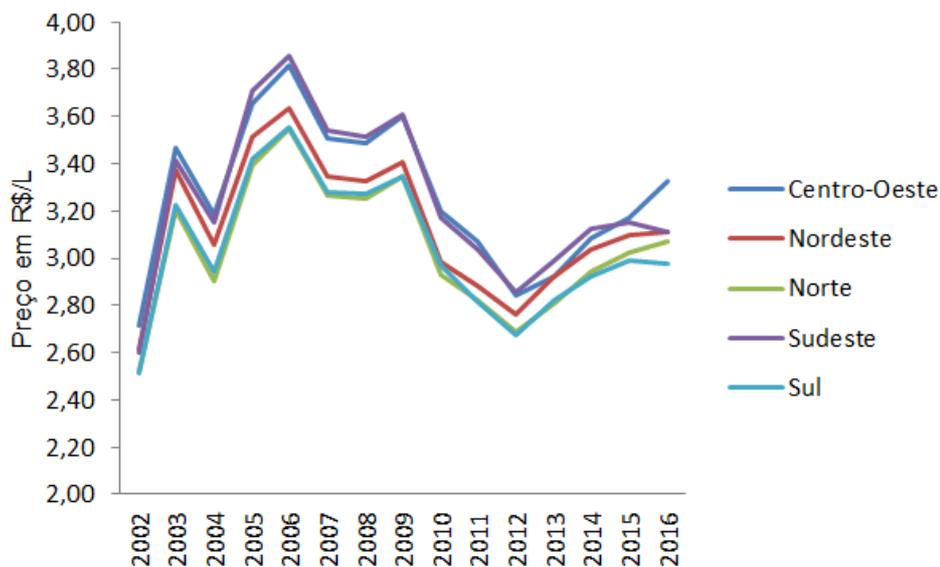


Figura 16. Evolução da variável preço (R\$/L) por macrorregião.

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANP (2019).

Em relação à variável renda, podemos notar, a partir da Figura 17, que há uma concentração de renda no Sul e Sudeste. Um destaque especial cabe ao Distrito Federal e ao Estado do Mato Grosso, que não pertencem a essas macrorregiões, mas possuem altos níveis de renda.

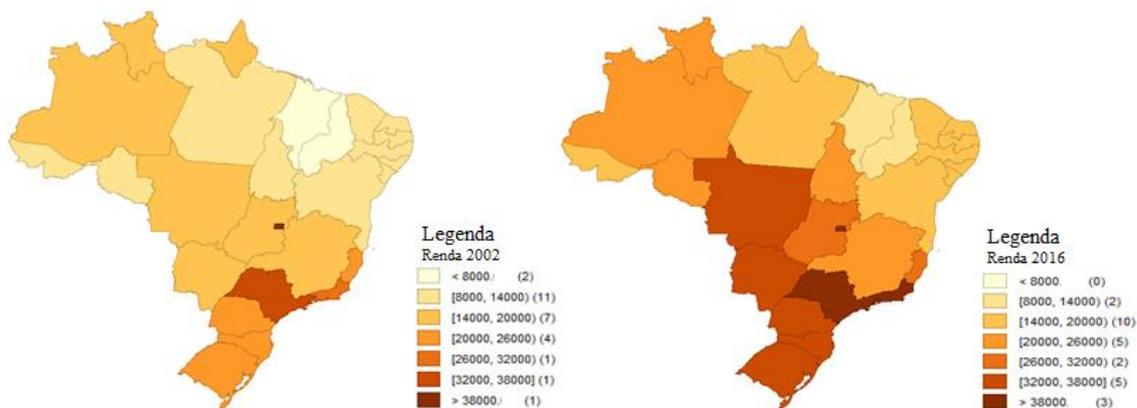


Figura 17. Descrição espacial da variável renda (em R\$ per capita).

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em IBGE (2019).

Na Figura 18 é possível identificar um crescimento real na renda *per capita* em todas as regiões.

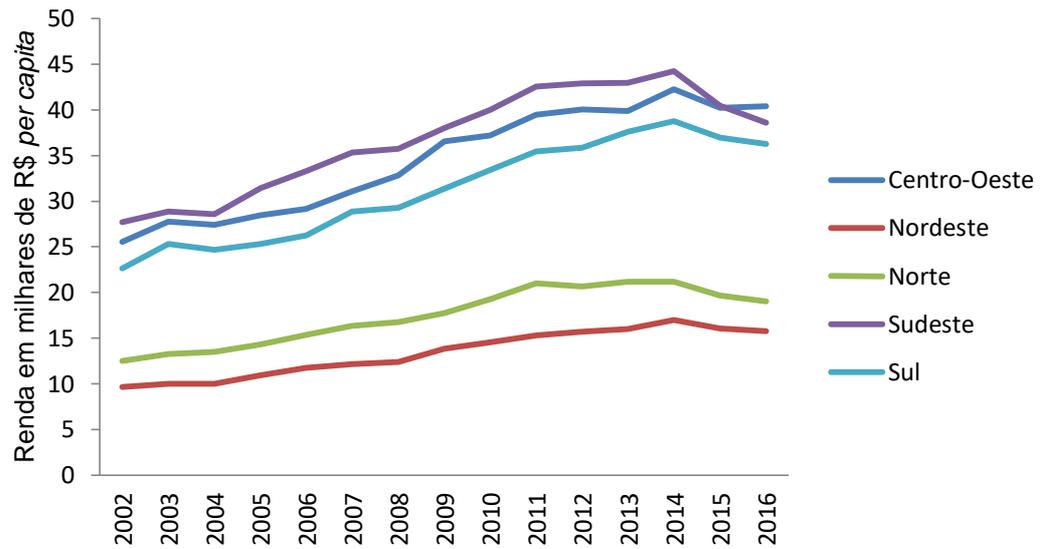


Figura 18. Evolução da variável renda (milhares de R\$ per capita) por macrorregião.

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em IBGE (2019).

No caso da variável portos, foram considerados, segundo dados da ANTAQ (2019), os 10 portos com maior movimentação em volume financeiro nos anos da série (2002 a 2016). Pela distribuição da Figura 19, é possível observar que os portos estão concentrados em poucos estados, sendo somente 7 unidades que possuem portos relevantes dentro do território nacional.

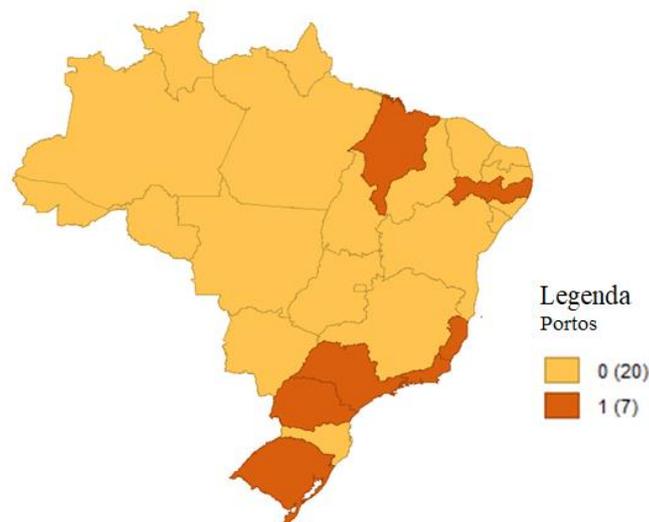


Figura 19. Descrição espacial da variável portos

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANTAQ (2019).

Por se tratar de uma variável binária, não há sua evolução ao longo da série, sendo assim, a Figura 20 identifica como essa variável muda ao longo das macrorregiões. O destaque fica pelo fato de que há uma concentração de portos importantes na região Sudeste (em alguns casos mais de um porto relevante por Estado).

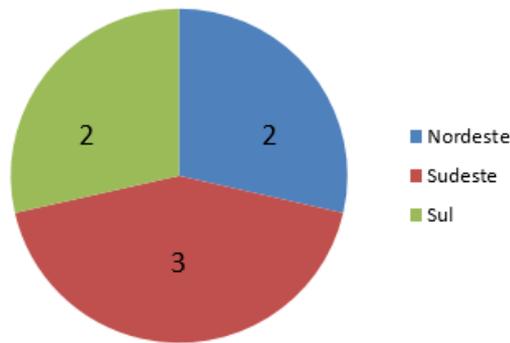


Figura 20. Descrição por macrorregião da variável portos

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em ANTAQ (2019).

No caso da variável exportação, vê-se que diversos estados se mantêm na mesma faixa de valores no início e no final da série, mas há alguns estados que alteram o seu posicionamento do longo do período em análise. A partir da Figura 21, é possível perceber uma ascensão dos estados do centro-oeste em importância para exportação, porém os estados do Sudeste, com enfoque em São Paulo, mantiverem sua colocação na última faixa de valores.

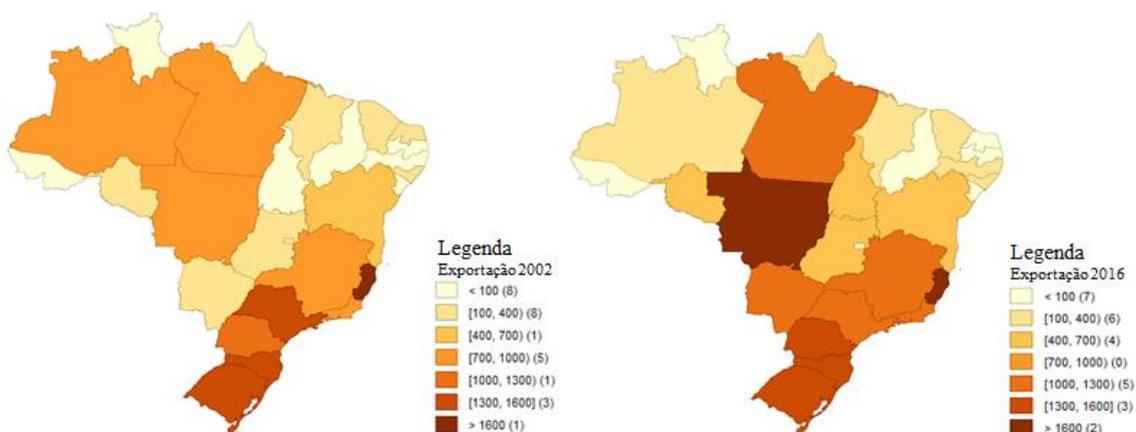


Figura 21. Descrição espacial da variável exportação (R\$ per capita).

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos MDIC (2019).

Temporalmente, a partir da Figura 22, fica evidente que houve uma grande variação no nível de exportação, principalmente no ano de 2008 devido à crise mundial.

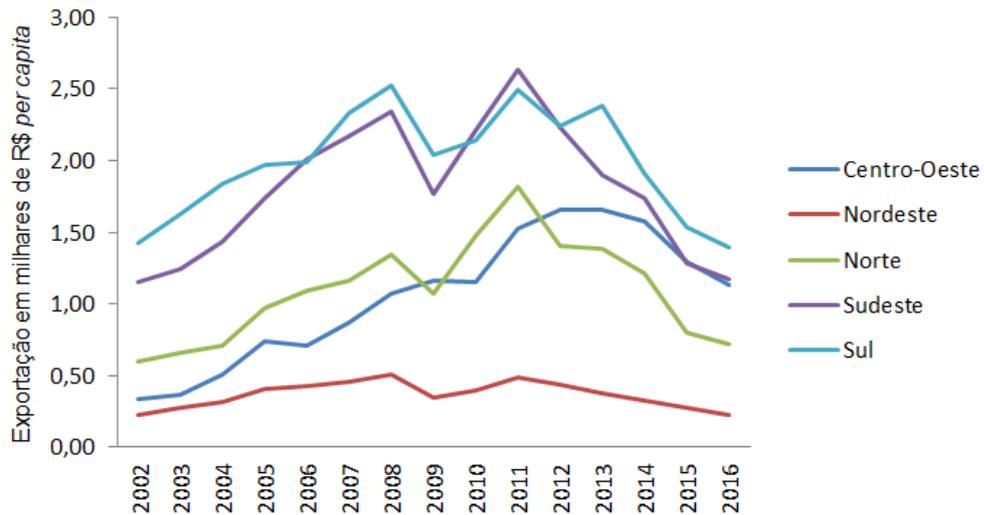


Figura 22. Evolução da variável exportação (milhares de R\$ *per capita*) por macrorregião.

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em MDIC (2019)

Para a variável agro, que corresponde ao valor bruto da produção do agronegócio, fica clara, a partir da Figura 23, a importância dos Estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, além dos altos níveis encontrados em estados fora desse eixo, como, por exemplo, o Pará. A escolha de utilizar essa variável em valor monetário se dá pela impossibilidade de agregar a quantidade produzida pelas diferentes culturas e pela agropecuária em uma mesma unidade física.

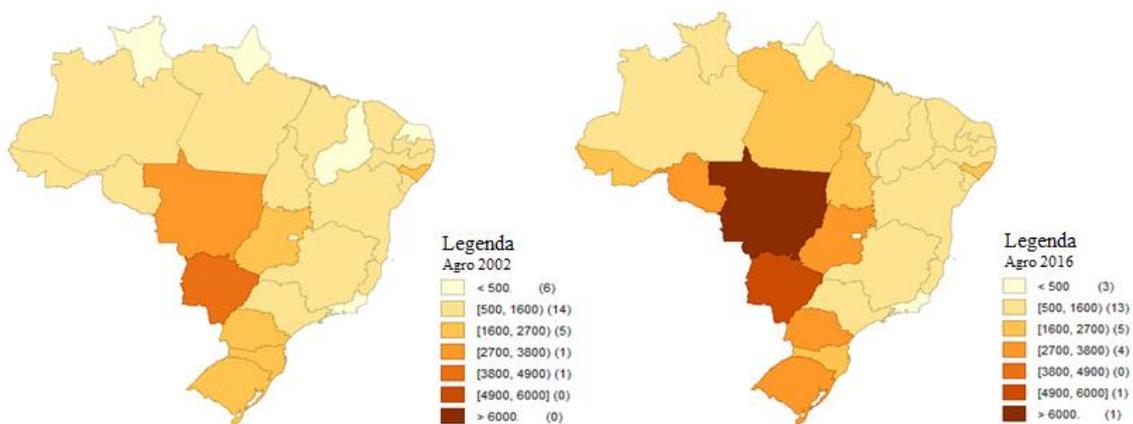


Figura 23. Descrição espacial da variável agro (em bilhões de R\$).

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em IBGE (2019).

A desagregação dos dados apresentados na Figura 23 evidencia um crescimento real da variável agro para a maioria das macrorregiões. A partir da Figura 24, é possível observar o destaque das Regiões Sudeste e Sul.

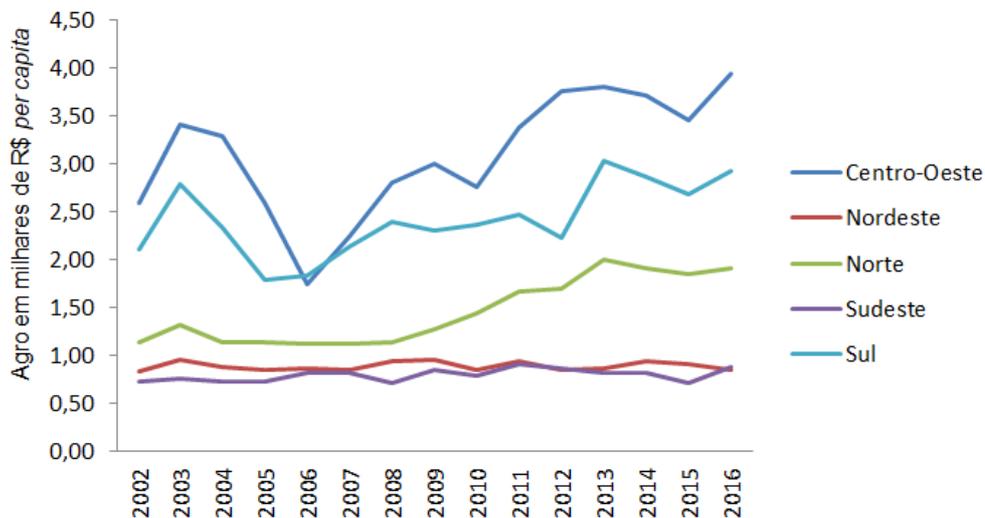


Figura 24. Evolução da variável agro (milhares de R\$ *per capita*) por macrorregião.

Fonte: Elaboração própria com os dados obtidos em IBGE (2019).

3.2. Modelo empírico

A especificação mais utilizada para modelar a demanda por diesel na literatura disponível sobre o tema contempla o preço do derivado e a renda do consumidor como variáveis que determinam o consumo do produto. Essa lógica é adotada Cardoso e Jesus (2018), Reis (2016), Luz (2015), Iooty et. al. (2009), Pisa (2012), Zimmer e Koch (2016) e González-Marrero et. al. (2012), entre outros.

No caso brasileiro, entretanto, a descrição até aqui apresentada evidencia a importância da atividade agropecuária e da dinâmica das exportações para o consumo de diesel. Dessa forma, além da especificação amplamente adotada na literatura sobre o tema, com a renda e o preço do derivado como únicas variáveis determinantes do consumo, foram avaliados modelos incorporando séries que retratam o comportamento da produção agropecuária e das exportações brasileiras.

Assim, como ponto de partida para a identificação dos modelos propostos, procedeu-se com o cálculo da matriz de correlação entre as variáveis mencionadas.

A partir dos valores apresentados na Tabela 5, é possível verificar que as variáveis exportação e agro apresentaram elevada correlação. Assim, ao estimar os modelos propostos é preciso observar se a significância estatística dessas variáveis pode ser prejudicada pela presença de multicolinearidade.

Tabela 5. Matriz de correlação

	consumo	preço	renda	portos	exportação	agro
consumo	1	0,066	0,202	-0,110	0,091	0,767
preço	-	1	-0,106	-0,184	0,135	-0,091
renda	-	-	1	0,222	0,384	0,074
portos	-	-	-	1	0,494	0,362
exportação	-	-	-	-	1	0,727
agro	-	-	-	-	-	1

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

3.2.1. Modelos efeitos fixos e aleatórios

Os modelos de painel com efeitos fixos e aleatórios possuem como objetivo controlar componentes não observados. De acordo com Wooldridge (2002), esses componentes não observados podem ser trabalhados como um parâmetro a ser estimado entre as unidades cross-section, abordagem de efeitos fixos, ou como uma variável aleatória, abordagem de efeitos aleatórios.

A especificação geral de um modelo de efeitos não observados segue na equação (I) a seguir:

$$y_{it} = x_{it}\beta + c_i + \varepsilon_{it} \quad (\text{I})$$

Em que y_{it} é a variável explicada para unidade i no ano t , x_{it} são as variáveis explicativas para unidade i no ano t , β são os parâmetros estimados, c_i representa o componente não observado que é particular da unidade i e ε_{it} representa o erro do modelo.

Caso esse c_i seja tratado como uma constante, a equação (I) resultará em (II), configurando um modelo de efeitos fixos. Quando c_i for tratado como uma variável aleatória, a equação (I) resultará em (IV), retratando o modelo de efeitos aleatórios.

O modelo de efeito fixo assume que os componentes não observados se comportam de maneira diferente para cada unidade cross-section, porém constante ao longo do tempo. Conforme detalhado na equação (II), essas características são quantificadas pelo elemento α_i .

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (\text{II})$$

Uma das pressuposições do modelo de efeitos fixos é que não há correlação entre α_i e x_{it} , sendo assim x_{it} não pode possuir características que são constantes ao longo do tempo para as unidades *cross-section*. No caso do presente trabalho, a variável portos não pode ser adicionada em modelos estimados como efeito fixo.

No presente trabalho, a especificação do modelo de efeito fixo será dada por:

$$\ln y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^4 \beta_j \ln x_{jit} + \varepsilon_{it} \quad (\text{III})$$

Em que:

$\ln y_{it}$ é o logaritmo neperiano da quantidade de diesel consumida em cada estado i no ano t .

α_i corresponde ao intercepto de cada unidade *cross-section* que não se altera ao longo do tempo.

β_j para $j = 1, 2, 3$ e 4 apresenta os parâmetros para cada uma das variáveis independentes selecionadas (preço, renda, produção agropecuária e valor exportado). Assim como foi citado anteriormente, esses valores estimados irão corresponder à elasticidade de cada variável em relação a demanda por diesel.

$\ln x_{jit}$ é o logaritmo neperiano de cada variável independente j , sendo $j = 1, 2, 3$ e 4 para cada estado i no ano t .

ε_{it} representa o erro do modelo com média zero e variância constante.

Para o modelo de efeito aleatório, assume-se que os componentes não observados se comportam de maneira diferente para cada unidade *cross-section* e podem variar ao longo do tempo. Dessa forma, os componentes não observados são denotados como μ_i e são particulares de cada unidade, como apresentado pela equação (IV).

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (\text{IV})$$

A especificação do modelo de efeito aleatório adotado neste estudo será então definida por:

$$\ln y_{it} = \alpha + \sum_{j=1}^4 \beta_j \ln x_{jit} + \beta_5 p_i + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (\text{V})$$

Em que:

$\ln y_{it}$ é o logaritmo neperiano da quantidade consumida de diesel em cada estado i no ano t .

α corresponde ao intercepto do modelo que possui valor igual para todos os estados i e anos t .

β_j para $j = 1, 2, 3$ e 4 apresenta os parâmetros que serão estimados para cada uma das variáveis escolhidas. Assim como foi citado anteriormente, esses valores estimados irão corresponder à elasticidade de cada variável em relação a y_{it} .

β_5 parâmetros a ser estimado para a variável binária portos.

p_i variável binária portos, que assume 1 para estados que possuem importantes portos e 0 para os demais.

$\ln x_{jit}$ que é o logaritmo neperiano de cada variável j , sendo $j = 1, 2, 3$ e 4 para cada estado i no ano t .

μ_i o componente não observado de cada estado i que não se altera ao longo do tempo.

ε_{it} representa o erro do modelo com média zero e variância constante.

A escolha pela melhor modelo entre (III) e (V) se dará pelo teste de Hausman, que visa comparar os modelos de efeito fixos e aleatório sobre as hipóteses nula de que o modelo de efeito aleatório é mais adequado.

Além desse teste, serão realizados os testes para avaliar a presença de heterocedasticidade e autocorrelação dos resíduos. Com os resultados dos testes, pode ser avaliada a pertinência do uso de um modelo robusto *cochrane orcutt* para maior confiança nos parâmetros estimados, conforme preconizado por Greene (2012).

3.2.2. Modelos de econometria espacial

De acordo com Greene (2012), a econometria aplicada é útil para estimar modelos que consigam traduzir de maneira clara fenômenos econômicos derivados de mudanças em políticas públicas, interações em mercados, teste de teorias ou outros fenômenos reais.

Em função da natureza dos dados que estão sendo aqui trabalhados, o uso de econometria espacial pode ser fundamental para garantir a robustez necessária aos resultados, visto que ela incorpora a presença dependência e heterogeneidade espacial ao fenômeno em análise.

Isso posto, a Figura 25 apresenta as diferentes possibilidades de ocorrência de dependência ou heterogeneidade espacial.

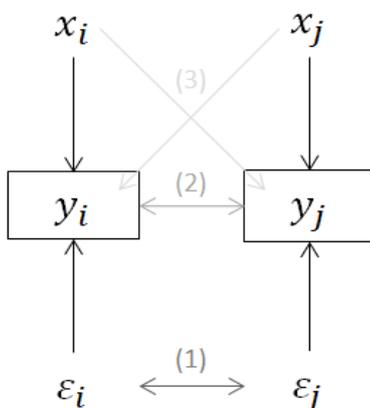


Figura 25. Interação espacial entre as variáveis

Fonte: adaptado Baller et. al. (2001).

Sendo i e j duas regiões distintas, as relações (1), (2) e (3) ditam como os modelos de econometria espacial irão mensurar a interação espacial existente. No caso da relação (1), há uma correlação entre os erros das duas regiões; a relação (2) mostra uma relação entre as variáveis dependentes; e, por fim, (3) retrata uma situação em que a variável explicativa da região i influencia a variável explicada da região j e vice-versa.

Os modelos de econometria espacial serão definidos e especificados seguindo quais relações estão presentes nos dados em questão. A Figura 26, extraída de Almeida (2012), retrata as diferentes possibilidades.

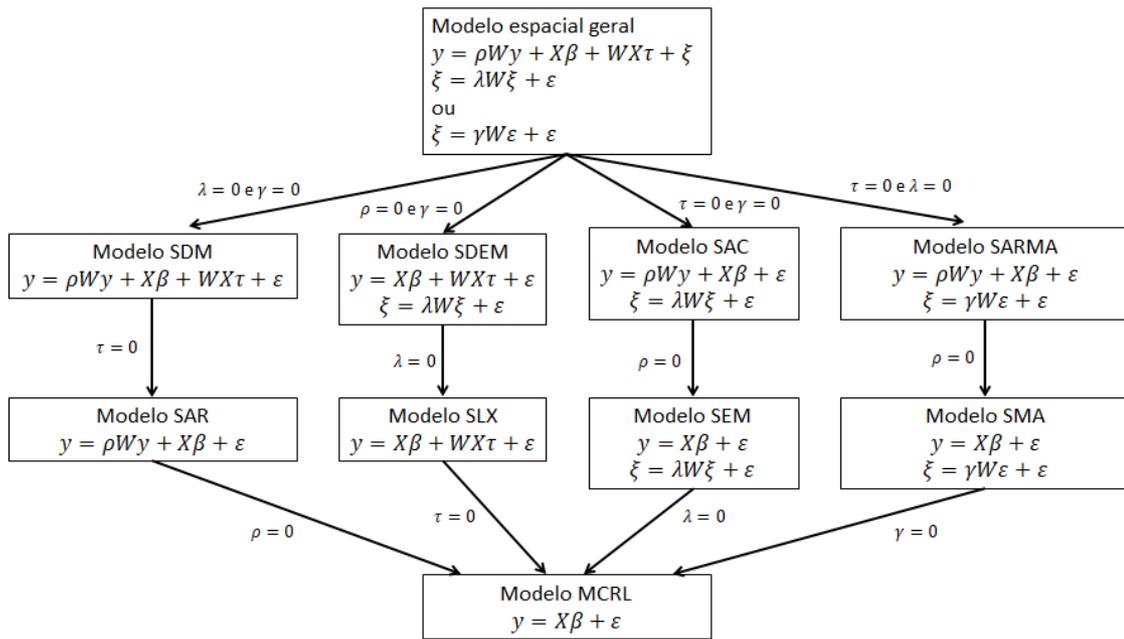


Figura 26. Aninhamento dos modelos de espaciais

Fonte: adaptado Almeida (2012).

O aninhamento dos modelos, ou seja, a organização dos modelos do mais genérico para os mais específicos deixa clara a complexidade da modelagem em econometria espacial. A escolha dos modelos deve se dar a partir configuração do problema em questão e do desempenho de cada um.

No presente trabalho, os modelos de econometria espacial terão como base os modelos de efeito fixo e efeito aleatório. Assim como é posto por Elhorst (2014), ambos os modelos quando integrados com alguma modelagem de interação espacial permitem a estimação de parâmetros consistentes.

A estratégia empírica que será adotada segue a proposta preconizada Halleck Vega e Elhorst (2015). Devido à elevada quantidade de restrições que os outros modelos imprimem à matriz de ponderação espacial e às interpretações dos efeitos *spillovers*, os autores sugerem que uma abordagem eficiente deve partir do modelo SLX. Se necessário, preconizam o uso dos modelos SDM, que possuem defasagens espaciais nas variáveis explicativas e explicada, ou os modelos SDEM, que possuem defasagens espaciais nas variáveis explicativas e no erro.

Em todos os modelos, será utilizada uma matriz de ponderação espacial (W) do tipo *queen* de contiguidade para vizinhos diretos padronizada pela linha. A matriz é formada de modo com que $w_{ij} = 0$ para estados que não são vizinhos e $w_{ij} = 1$ para estados vizinhos.

O uso dessa matriz facilita a compreensão dos resultados. Ademais, outras matrizes de ponderação foram testadas (matriz *rook*, matriz de distância inversa e matrizes de k -vizinhos mais próximos com k igual a 3, 4 e 5) e não foram observadas mudanças relevantes nos resultados obtidos.

A escolha dessa matriz de ponderação de espacial pressupõe que a interação no nível estadual se dá apenas pelos vizinhos diretos, assim, as variáveis espacialmente defasadas irão representar uma média dos vizinhos daquela determinada região.

Assim, as equações (VI) a (IX) são apresentadas a seguir a partir da notação matricial, sendo: y a variável explicativa, definida por um vetor $n \times 1$; n o número de observações; X representa as variáveis explicadas, definido por uma matriz $n \times k$, em que k é o número de parâmetros; β retrata os parâmetros estimados, denotados por meio de vetor $k \times 1$; e, ε representa o erro do modelo, com média zero e variância constante.

Portanto, o modelo SLX a ser estimado é dado por:

$$y = X\beta + WX\tau + \varepsilon \quad (\text{VI})$$

A modelagem da interação espacial também pode ocorrer assumindo que há endogeneidade espacial (ANSELIN, 2013). Sendo assim, o próximo modelo a ser estimado é dado a partir da estrutura SDM:

$$y = \rho Wy + X\beta + WX\tau + \varepsilon \quad (\text{VII})$$

O modelo SDEM, por sua vez, apresenta uma estrutura que modela os efeitos espaciais a partir dos erros da equação, conforme especificado a seguir:

$$\begin{aligned} y &= X\beta + WX\tau + \varepsilon \\ \xi &= \lambda W\xi + \varepsilon \end{aligned} \quad (\text{VIII})$$

No caso dos modelos (VII) e (VIII), a estimação é realizada por máxima verossimilhança.

Para todos os modelos apresentados nas equações (VI) a (VIII), temos que: W é a matriz de ponderação espacial, já especificada anteriormente; ξ é o erro com o componente espacial; λ é o parâmetro do erro autoregressivo espacial que acompanha a defasagem; ρ é o coeficiente autoregressivo espacial; e, τ é um vetor de $(k-1)$ por 1, sendo k sendo o número de parâmetros a serem estimados.

Por fim, cabe mencionar que limitações de eficiência na estimação dos parâmetros devido a endogeneidade de preços na determinação da demanda não estão presentes no problema em análise. Isso porque, como visto anteriormente, no Brasil o preço do diesel é determinado essencialmente pelo valor cobrado na refinaria. Esse valor, por sua vez, foi definido de maneira exógena pela Petrobrás no início do período em análise e passou a refletir as cotações internacionais do petróleo nos últimos anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme evidência indicada na matriz de correlação, as versões do modelo com as variáveis agro e exportação não apresentaram uma boa performance quando adotadas em conjunto. Dessa forma, para eliminar o problema de multicolinearidade, a variável exportação foi suprimida dos modelos. Essa alta correlação entre as duas variáveis se dá pelo fato de que boa parte da exportação é explicada pelas variações na produção agropecuária.

A variável portos, por sua vez, também não apresentou significância estatística em nenhum dos modelos estimados, sendo excluída das versões finais aqui apresentadas.

Com o intuito de definir qual é a melhor opção para controle dos fatores não observáveis, foi realizado o teste de Hausman. O referido procedimento em sua hipótese nula considera que o modelo com efeitos aleatórios é mais indicado. Assim, o resultado do teste, apresentado na Tabela 6, sugere o uso do modelo de efeitos fixos.

Tabela 6. Resultado Teste de Hausman

Estatística χ	p-valor	Resultado
176,49	0,0000	Rejeita-se a hipótese nula

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos

Concluída essa etapa, foram estimados os modelos espaciais de efeitos fixos SLX, SDM e SDEM para a obtenção dos resultados. De modo a atestar a consistência e robustez dos valores obtidos, as estimativas dos parâmetros dos modelos espaciais com dados em painel e efeitos aleatórios também são apresentadas ao longo desta seção.

Isso posto, na equação IX é a apresentada a especificação do modelo de efeitos fixos sem controle espacial. Na Tabela 7, são apresentadas as estimativas obtidas.

$$\ln Cons_{it} = \beta_1 \ln Preço_{it} + \beta_2 \ln Renda_{it} + \beta_3 \ln Agro_{it} + \varepsilon_{it} \quad (IX)$$

Tabela 7. Resultados modelos de efeitos fixos

	Valor estimado (β_k)	Desvio-padrão do erro	p-valor
$\ln\text{Preço}_{it} (\beta_1)$	-0,4908	0,0650	0,0000***
$\ln\text{Renda}_{it} (\beta_2)$	0,6072	0,0372	0,0000***
$\ln\text{Agro}_{it} (\beta_3)$	0,0821	0,0336	0,0150*

R²=0,5969

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Os parâmetros estimados sem o uso de procedimento para controle da correlação espacial apresentaram os sinais esperados e foram estatisticamente significativos. Nesse caso, a elasticidade preço da demanda obtida foi de -0,4908. A elasticidade renda, por sua vez, atingiu 0,6072. O parâmetro estimado para a variável *agro* atingiu 0,0821, indicando que um aumento de 1% no valor da produção agropecuária eleva, em média, o consumo de diesel em 0,0821%.

Para confirmar a necessidade do uso de modelos espaciais, foi realizado o teste de Pesaran, que avalia a dependência entre as unidades *cross-section*. O referido procedimento possui como hipótese nula a ausência de dependência especial. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 8 e o *p-valor* obtido indica a rejeição da hipótese nula, atestando, portanto, a necessidade de incorporação dos efeitos espaciais nos modelos estimados.

Tabela 8. Resultado teste de Pesaran

Estatística Z	p-valor	Resultado
17,6150	0,0000	Rejeita-se a hipótese nula

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

Para selecionar as variáveis que serão defasadas espacialmente, adotou-se a mesma análise conduzida para avaliar a presença de autocorrelação. Como pode ser observado na Tabela 9, os valores obtidos para a matriz de correlação indicam que o preço e o preço defasado espacialmente ($W\text{preço}$) possuem uma elevada correlação (coeficiente atingiu 0,901). Essa característica pode ter sido influenciada pelo controle de preços realizado no País em boa parte do período em análise.

Diante desses resultados e da baixa significância estatística da variável $Wpreço$ nos modelos estimados preliminarmente, optou-se pela manutenção das seguintes variáveis nas versões finais dos sistemas: $preço$, $renda$, $agro$, $Wrenda$ e $Wagro$.

Essas variáveis defasadas espacialmente retratam, pela escolha da matriz de ponderação espacial, a média dos vizinhos diretos daquela determinada região. Sendo assim, cada variável com o W anterior a ela representa a referida variável defasada espacialmente.

Tabela 9. Matriz de correlação com variáveis defasadas espacialmente

	consumo	preço	renda	agro	Wconsumo	Wpreço	Wrenda	Wagro
consumo	1	0,066	0,202	0,767	0,643	0,036	0,414	0,696
preço	-	1	-0,106	0,091	0,037	0,901	-0,132	-0,003
renda	-	-	1	0,074	0,463	-0,125	0,627	0,379
agro	-	-	-	1	0,561	0,013	0,346	0,622
Wconsumo	-	-	-	-	1	0,026	0,674	0,865
Wpreço	-	-	-	-	-	1	-0,119	0,043
Wrenda	-	-	-	-	-	-	1	0,562
Wagro	-	-	-	-	-	-	-	1

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

Seguindo o procedimento descrito por Halleck Vega e Elhorst (2015), foram estimados na sequência os modelos SLX, SDM e SDEM. Os resultados obtidos para as três especificações dos modelos, tanto para o painel de efeitos fixos quando para o de efeitos aleatórios, são apresentados nas Tabela 10 e 11. A equação X retrata uma versão genérica das equações estimadas nas três versões dos modelos.

$$\begin{aligned}
 \ln Cons_{it} &= \rho W \ln Cons_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln Preço_{it} + \beta_2 \ln Renda_{it} + \beta_3 \ln Agro_{it} \\
 &\quad + \tau_1 W \ln Renda_{it} + \tau_2 W \ln Agro_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \\
 \xi_{it} &= \lambda W \xi_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}
 \tag{X}$$

Tabela 10. Resultados dos modelos com base em efeitos fixos

	EF	SLX-EF	SDM-EF	SDEM-EF
ρ	-	-	0,0129	-
λ	-	-	-	0,0565
β_1	-0,4908***	-0,5275***	-0,5226***	-0,5368***
β_2	0,6072***	0,4247***	0,4235***	0,4182***
β_3	0,0821*	0,1471***	0,1476***	0,1487***
τ_1	-	0,2361*	0,2281*	0,2398*
τ_2	-	-0,1575**	-0,1584**	-0,1609**

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Tabela 11. Resultados dos modelos com base em efeitos aleatórios

	EA	SLX-EA	SDM-EA	SDEM-EA
ρ	-	-	0,0666	-
λ	-	-	-	0,0577
β_0	-0,6876	-0,6705	-0,4559	-0,5097
β_1	-0,4680***	-0,4905***	-0,4831***	-0,5156***
β_2	0,5701***	0,3546***	0,3742***	0,3764***
β_3	0,1411***	0,1872***	0,1739***	0,1727***
τ_1	-	0,2736**	0,2216*	0,2623**
τ_2	-	-0,1222*	-0,1459**	-0,1409**

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Os resultados das Tabelas 10 e 11 para os parâmetros de defasagem na variável explicada, ρ , e nos erros, λ , indicam que eles não foram estatisticamente significativos. Esses valores evidenciam, portanto, que os impactos espaciais foram controlados de maneira eficiente pelo modelo SLX.

A despeito dessa indicação do modelo SLX como o mais apropriado para a explicação do fenômeno em análise, é importante mencionar que foi observada certa estabilidade nas elasticidades estimadas pelos diferentes modelos especiais, considerando não apenas a estimação por efeitos fixos, mas também por efeitos aleatórios.

A elasticidade preço da demanda por diesel foi estatisticamente significativa em todas as versões estimadas e variou de -0,5368 a -0,4831. A elasticidade renda, por sua vez, apresentou uma oscilação um pouco maior, com parâmetros entre e 0,3546 e 0,6072. Essa variação, entretanto, não é suficiente para alterar a interpretação dos resultados, que atestam a baixa elasticidade renda da demanda por diesel no mercado nacional.

Apresentada essa análise para evidenciar a robustez dos parâmetros estimados, cabe um maior detalhamento dos resultados do modelo selecionado. Nesse contexto, a equação XI traz a representação do modelo SLX estimado por meio de dados em painel com efeitos fixos (SLX-EF) e, na Tabela 12, se encontra um detalhamento dos parâmetros estimados.

$$\ln Cons_{it} = \beta_1 \ln Preço_{it} + \beta_2 \ln Renda_{it} + \beta_3 \ln Agro_{it} + \tau_1 W \ln Renda_{it} + \tau_2 W \ln Agro_{it} + \varepsilon_{it} \quad (XI)$$

Tabela 12. Resultados do modelo SLX-EF

	Valor estimado (β_k)	Desvio-padrão do erro	p-valor
$\ln Preço_{it} (\beta_1)$	-0,5275	0,0659	0,0000***
$\ln Renda_{it} (\beta_2)$	0,4247	0,1032	0,0000***
$\ln Agro_{it} (\beta_3)$	0,1471	0,0389	0,0002***
$W \ln Renda_{it} (\tau_1)$	0,2361	0,1062	0,0268*
$W \ln Agro_{it} (\tau_2)$	-0,1575	0,0511	0,0022**
$R^2=0,6087$			

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Com objetivo de facilitar a comparação dos resultados encontrados nestes estudos com aqueles disponíveis na literatura internacional, na Tabela 13 se encontram as elasticidades preço e renda da demanda estimadas a partir de um modelo de efeito fixo utilizando apenas o preço e a renda como variáveis explicativas. Essa especificação é a mais comum observada na literatura disponível sobre o tema.

Tabela 13. Resultados do modelo EF com preço e renda

	Valor estimado (β_k)	Desvio-padrão do erro	p-valor
$\ln Preço_{it} (\beta_1)$	-0,5075	0,0651	0,0000***
$\ln Renda_{it} (\beta_2)$	0,6520	0,0327	0,0000***

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

As elasticidades preço estimadas sugerem que a demanda por diesel é inelástica, com parâmetros variando entre -0,5368 a -0,4680 nos modelos estimados, atingindo -0,5275 no modelo SLX-EF.

Esse resultado já era esperado devido à essencialidade do bem e à ausência

de produtos substitutos ao diesel no mercado nacional. Essa característica corrobora os resultados disponíveis na literatura sobre o tema.

Conforme estimativas apresentadas na Figura 11 e na Tabela 2, a quase totalidade dos estudos internacionais indicam a baixa resposta da demanda por diesel a alterações nos preços do produto. Na comparação com resultados encontrados por Dahl (2012), a elasticidade obtida ficou mais próxima daquela encontrada em países com menor poder aquisitivo e maior preço do derivado.

Os valores obtidos também estão alinhados com aqueles estimados por outros estudos conduzidos no mercado brasileiro. Conforme parâmetros apresentados na Tabela 1, todos os estudos realizados nacionalmente confirmam a baixa sensibilidade da demanda por diesel a variações no preço do produto.

Essa característica atesta o reduzido potencial de redução do consumo do produto diante de medidas de precificação de carbono para a redução de emissões. Especialmente no mercado nacional, a baixa elasticidade preço da demanda pelo derivado também explica o uso recente de tributos federais para ampliação da arrecadação e redução do *déficit* fiscal no País.

No tocante à resposta da demanda a alterações na renda disponível, os valores encontrados se situaram no intervalo entre 0,3546 e 0,6072. O valor encontrado no modelo SLX-EF atingiu 0,4247.

Ao contrário da elasticidade de preço, há uma diferença mais evidente entre o parâmetro estimado no modelo SLX-EF e aquele obtido na versão simplificada apresentada na Tabela 11. Isso se deve ao fato de as variáveis *renda* e *agro* serem positivamente correlacionadas, assim como pode ser visto na Tabela 5.

Com efeito, quando a variável *agro* é retirada do modelo, o parâmetro estimado atinge 0,6520. Dessa forma, apesar dessa versão reduzida modelo apresentar um parâmetro mais elevado, as conclusões obtidas a partir do modelo SLX-EF não são alteradas.

Portanto, assim como no caso do preço, é possível concluir que a demanda por diesel também é inelástica em relação à renda.

Os parâmetros obtidos são próximos daqueles disponíveis na literatura internacional e apresentados na Figura 12. No caso dos estudos que avaliaram o

mercado nacional, apenas os trabalhos de Cardoso e Jesus (2018) e Iooty et al. (2009) encontraram parâmetros levemente superiores a uma unidade.

Por fim, cabe ressaltar que uma das principais diferenças entre o Brasil e os demais países na análise da demanda de diesel é a importância do agronegócio no consumo desse combustível. De fato, todos os modelos identificaram uma relação direta e estatisticamente significativa entre o consumo de diesel e o valor da produção do agronegócio.

Os parâmetros encontrados variaram entre 0,0821 e 0,1872, evidenciando que qualquer aumento na produção da agropecuária nacional deverá repercutir em maior consumo por diesel no País. Essa constatação é especialmente importante para direcionar investimentos em logística, visto que a produção do agronegócio cresce em regiões mais distantes dos centros de produção ou de importação do derivado.

Outra contribuição do presente trabalho refere-se à identificação do efeito espacial das variáveis *renda* e *agro*. Nesse sentido, os parâmetros estimados devem ser lidos como o impacto do consumo em um determinado estado em decorrência da variação dessa variável nos Estados vizinhos. Devido à escolha da matriz de ponderação espacial, essa média retrata a condição dos vizinhos diretos, conforme ilustrado na Figura 27.



Figura 27. Gráfico de conectividade

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos

Os parâmetros estimados para a variável defasada *renda* estão no intervalo entre 0,2216 e 0,2736. A significância estatística observada nos resultados indica que o aumento do consumo em um estado específico está relacionado com uma elevação da renda nos estados vizinhos.

A magnitude dessa elasticidade renda dos vizinhos para o modelo SLX-EF foi de 0,2361. Isso sugere que se houver um aumento de 1% na renda média dos estados vizinhos, o consumo no estado em análise irá aumentar em cerca de 0,2361%.

A outra variável defasada espacialmente foi aquela utilizada para representar a produção do agronegócio. Em todos os modelos estimados, essa variável foi estatisticamente significativa e os parâmetros obtidos variaram entre -0,1609 e -0,1222. No caso do modelo escolhido, esse parâmetro atingiu -0,1575.

O sinal negativo dos parâmetros indica uma característica de competição pelo consumo. Assim, o aumento da produção agrícola média dos vizinhos tende promover uma redução relativa no consumo de diesel no estado em análise.

Em síntese, os resultados atestam que o consumo de diesel pode crescer nos próximos anos em decorrência de quedas no preço real do produto, de aumento na renda disponível ou de maior produção da agropecuária.

Os resultados obtidos trazem indicações importantes para o direcionamento de investimentos e ações dos agentes privados envolvidos nesse mercado. Adicionalmente, podem ser utilizados para o delimitar políticas públicas visando à manutenção da regularidade no abastecimento ou mesmo diretrizes para a expansão da produção doméstica.

No caso do abastecimento, por exemplo, o uso dos parâmetros obtidos para a estruturação de cenários sobre o consumo do derivado é fundamental para dimensionar a necessidade de biodiesel utilizado em mistura com o diesel fóssil ou as metas de descarbonização preconizadas pela recém-criada Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo buscou-se investigar o comportamento da demanda de diesel nos Estados brasileiros.

As elasticidades encontradas sugerem que a demanda pelo derivado no Brasil é inelástica em relação a preço e a renda, com os parâmetros estimados atingindo -0,5275 e 0,4247, respectivamente. Esses valores corroboram aqueles encontrados por outros estudos para o mercado nacional e não apresentam divergência em relação aos estudos aplicados em outras regiões do globo.

Apesar desse alinhamento em relação à sensibilidade da demanda a variações na renda e no preço do diesel, uma característica peculiar do mercado nacional que não encontra paralelo em estudos disponíveis para outros países refere-se ao impacto do agronegócio no consumo do derivado.

Os resultados obtidos atestam que o aumento de 1% na produção agropecuária de um determinado estado promove, em média, uma elevação de 0,1471% no consumo de diesel.

Adicionalmente, os modelos estimados indicaram a presença de correlação espacial na demanda pelo derivado entre os Estados. Especificamente, as variáveis renda e agro defasadas espacialmente apresentaram elasticidades de 0,2361 e -0,1575, respectivamente.

Portanto, embora o uso de dados agregados por Estado possa ter limitado as evidências dos efeitos espaciais, os resultados permitem afirmar que políticas públicas Estaduais voltadas para ampliação da renda ou para estímulo/desestímulo ao agronegócio devem influenciar não apenas o consumo de diesel no Estado em que tais políticas foram aplicadas, mas também a demanda pelo combustível nos Estados vizinhos.

Esses resultados ampliam o entendimento da demanda por diesel na literatura sobre o tema, além de serem úteis para o melhor planejamento setorial por parte dos agentes que atuam nesse mercado no Brasil.

É necessário ressaltar, ainda, que as informações aqui geradas possuem potencial de serem utilizadas na formulação de políticas públicas voltadas ao mercado nacional de diesel. Assim como já discutido ao longo do trabalho, o comportamento e garantia de suprimento do derivado é crucial para dinâmica logística do país.

Por fim, é preciso reconhecer que este estudo, apesar de ampliar o entendimento do fenômeno, não esgota o tema. Novos trabalhos voltados para a análise do consumo de diesel no país com dados desagregados por município e com a incorporação de novas variáveis são fundamentais para a melhor compreensão da problemática aqui abordada.

REFERÊNCIAS

Agility Logistics, 2019, disponível em: <<https://www.agility.com/pt-pt/homepage/>>. Acessado em: 18/04/2019

AKILU, A. Z. Gasoline and diesel demand elasticities: A consistent estimate across the EU-28, **Working Paper Series 2016:12**, Swedish University of Agricultural Sciences, Department Economics, 2016.

ALLAN, G. J.; MCINTYRE, S. G. Green in the heart or greens in the wallet? The spatial uptake of small-scale renewable technologies. **Energy Policy**, v. 102, n. September 2016, p. 108–115, 2017.

ALMEIDA, E. L. F.; OLIVEIRA, P. V.; LOSEKANN, L. Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 35, n. 3, p. 531-556, 2015.

ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas–SP: Alínea, 2012

ANP, 2019, disponível em: <www.anp.gov.br>. Acessado em 14/03/2019

ANSELIN, L.; FLORAX, R.; REY, S. J. (Ed.). **Advances in spatial econometrics: methodology, toMGO and applications**. Springer Science & Business Media, 2013.

ANTAQ, 2019, disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/anuario/>>. Acessado 11/06/2019

BALADO-NAVES, R.; BAÑOS-PINO, J. F.; MAYOR, M. Do countries influence neighbouring pollution? A spatial analysis of the EKC for CO2 emissions. **Energy Policy**, v. 123, n. September, p. 266–279, 2018.

Baller, R.D., Anselin, L., Messner, S.F., Deane, G., and Hawkins, D.F. Structural covariates of U.S. county homicide rates: Incorporating spatial effects. **Criminology** 39(3): 561-590, 2001.

Biodieselbr, 2019, disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/negocio/importacao-de-diesel-volta-a-superar-marca-de-1-bilhao-de-litros-070519>>. Acessado em 20/06/2019

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. Portaria nº. 346, de 19 de novembro de 1976 regulamenta a comercialização de veículos movidos a motores com diesel.

BOWEN, E.; LACOMBE, D. J. Spatial dependence in state renewable policy: Effects of renewable portfolio standards on renewable generation within NERC regions. **Energy Journal**, v. 38, n. 3, p. 177–193, 2017.

CABRAL, J. DE A.; LEGEY, L. F. L.; FREITAS CABRAL, M. V. DE. Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. **Energy**, v. 126, p. 124–131, 2017.

CARDOSO, L. C. B.; BITTENCOURT, M. V. L.; PORSSE, A. A. Demanda por Combustíveis Leves no Brasil: uma abordagem utilizando painéis espaciais dinâmicos . **Anpec**, p. 1–20, 2014.

CARDOSO, L. C. B.; JESUS, C. S. DE. Elasticidades da Demanda por Diesel no Brasil. **Anpec**, p. 1–20, 2018.

CASTRO, L. S. DE. **Recent panorama of sugarcane in Brazil: aspects of spatial convergence in production**, 30 TH Internacional Conference of Agricultural Economists. **Anais**. 2018

CNT, 2019, disponível em: <<https://www.cnt.org.br/home>>. Acessado em 18/04/2019

DAHL, C. A. Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities. **Energy Policy**, v. 41, p. 2–13, 2012.

ELEFThERIOU, K.; NIJKAMP, P.; POLEMIS, M. L. Asymmetric price adjustments in US gasoline markets: impacts of spatial dependence on the “rockets and feathers” hypothesis. **Regional Studies**, p. 1–14, 2018.

ELHORST, J. P. **Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels**. Heidelberg: Springer, 2014.

Equipe de Desenvolvimento do QGIS (2019). Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

ESALQ-LOG/ANTT, 2019, disponível em: <<https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=378>>. Acessado em: 18/04/2019

FGV, 2019, disponível em: <<https://portalibre.fgv.br/>>. Acessado em 07/03/2019

FILIPPINI, M.; HEIMSCH, F. The regional impact of a CO2 tax on gasoline demand: A spatial econometric approach. **Resource and Energy Economics**, v. 46, p. 85–100, 2016.

GREENE, W. H. **Econometric analysis 7th edition**. International edition, New Jersey: Prentice Hall, 2012.

GONZÁLEZ-MARRERO, R. M.; LORENZO-ALEGRÍA, R. M.; TENERIFE, S. C. DE. A Dynamic Model for Road Gasoline and Diesel Consumption : An Application for Spanish Regions. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 2, n. 4, p. 201–209, 2012.

GUAN, W.; XU, S. Study of spatial patterns and spatial effects of energy eco-efficiency in China. **Journal of Geographical Sciences**, v. 26, n. 9, p. 1362–1376, 2016.

HALLECK VEGA, S.; ELHORST, J. P. The SLX model. **Journal of Regional Science**, v. 55, n. 3, p. 339-363, 2015.

HUNTINGTON, H. G.; BARRIOS, J. B.; ARORA, V. Review of Key International Demand Elasticities for Major Industrializing Economies. **Energy Modeling Forum Stanford University**, 2017.

IBGE, 2019, disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 06/04/2019

IOOTTY, M.; PINTO Jr, H.; EBELING, F. Automotive fuel consumption in Brazil: Applying static and dynamic systems of demand equations. **Energy Policy**, 2009.

KHACHATRYAN, H.; YAN, J.; CASAVANT, K. Spatial Differences in Price Elasticity of Demand for Ethanol. **Journal of the Transportation Research Forum**, v. 50, n. 3, p. 43–61, 2011.

KIM, J.; ZHANG, M. Determining Transit ' s Impact on Seoul Commercial Land Values : An Application of Spatial Econometrics. **International Real Estate Review**, v. 8, n. 1, p. 1–26, 2005.

LAGARDE, C. M. DE. Network connection schemes for renewable energy in france : a spatial analysis. **Chaire European Electricity Markets**, v. 12.2018, 2018.

LUZ, M. R. Modelo de projeção de demanda de diesel no Brasil: Uma análise nacional e regional. **FGV Tese de Doutorado**, 2015.

MDIC, 2019, disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acessado em 02/04/2019

PIROTTE, A.; MADRE, J. A Spatial Panel Data Analysis of French Regions. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 45, n. September 2011, p. 341–365, 2011.

PISA, V. The demand for motor fuels in the central european region and its impacts on indirect tax revenues. **Charles University Prague, Faculty of Humanities**, 2012.

POON, J. P. H.; CASAS, I.; HE, C. The Impact of Energy, Transport, and Trade on Air Pollution in China. **Eurasian Geography and Economics**, v. 47, n. 5, p. 568–584, 2008.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<https://www.R-project.org/>>.

REIS, M. T. Análise do Consumo de Combustíveis Líquidos e Emissões no Setor de Transportes no Brasil. **POLI/UFRJ**, 2016.

SANTOS, G. F.; FARIA, W. R. Spatial Panel Data Models and Fuel Demand in Brazil. **Texto para Discussão Nereus**, v. 10–2012, 2012.

THANOS, S.; KAMARGIANNI, M.; SCHÄFER, A. Car Travel Demand: Spillovers and Asymmetric Price Effects in a Spatial Setting. **Transportation Science**, v. 52, n. 3, p. 621–636, 2017.

WOOLDRIDGE, J. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**, MIT Press, 2002.

ZIMMER, A.; KOCH, N. I MPLICATIONS OF F UEL T AX R EFORMS FOR A IR P OLLUTION AND. **Available at SSRN 2813534**, 2016.