

Efeitos da Infraestrutura nos Fluxos de Comércio Interestadual

Rafael Duregger¹

Resumo: O objetivo deste artigo é mensurar os efeitos da qualidade e disponibilidade de infraestrutura (estimados com um índice de infraestrutura estadual criado no artigo) no volume de comércio interestadual, extraído da Balança Comercial Interestadual. Os fluxos de comércio foram extraídos para os anos de 2017 a 2020. Foi encontrado uma relação positiva e significativa entre um maior índice de infraestrutura para a região exportadora e importadora e o volume de comércio, especialmente para a região exportadora indicando que um aumento na infraestrutura em determinada UF aumenta sua capacidade de competir nos mercados das demais UFs.

Palavras-Chave: Infraestrutura; Comércio Interestadual; Competitividade

Área Temática: 1- Economia

O autor é bolsista CAPES. O projeto não recebeu nenhum auxílio financeiro

1. Introdução

O fluxo de comércio interestadual é uma variável interessante para analisar o desempenho de uma Unidade da Federação (UF), em termos de competitividade econômica. A relação positiva entre o desenvolvimento da infraestrutura e crescimento econômico é corroborada pela literatura empírica (e.g., Bom Ligthat, 2014, Wang, 2002, Aschauer, 1998, Sahoo e Dash, 2012, Fraga e Resende, 2022).

Utilizaremos o método de PCA (*Principal Component Analysis*) para criar um índice de qualidade e disponibilidade da infraestrutura estadual. Essa metodologia apresenta vantagens em relação a variáveis monetárias de investimento em infraestrutura (como, investimento público ou parcela do PIB gasto em infraestrutura), pois apresenta a disponibilidade real de infraestrutura, como por exemplo, utilizando variáveis relacionadas ao acesso a saneamento básico. É razoável supor que o investimento em infraestrutura nos diferentes estados tenha distintos níveis de efetividade na geração de infraestrutura disponível. Dada a heterogeneidade da eficiência do investimento público em infraestrutura, por exemplo. A utilização de variáveis não monetárias, através do método de PCA, elimina esse viés.

O objetivo com esse índice é mensurar os efeitos da qualidade e disponibilidade de infraestrutura no volume de comércio interestadual, extraídos da Balança Comercial Interestadual. Isso nos permitirá discutir o impacto de uma melhora na infraestrutura no potencial econômico de uma região. Para melhor estimar o impacto da infraestrutura, consideraremos a utilização das variáveis relacionadas ao modelo gravitacional de comércio como variáveis controle de nossa estimação econométrica.

¹ Doutorando do PPGDE/UFPR. rafaelduregger@hotmail.com

A primeira seção é constituída pela presente introdução, posteriormente, na 2ª seção apresentamos a literatura que discute o papel da infraestrutura no potencial econômico de uma região e o modelo gravitacional de comércio. Na seção 3, temos os dados e a construção do índice. Na seção 4, temos a estimação empírica. Na seção 5, discutimos os resultados e concluímos na seção 6.

2.1. Desenvolvimento da Infraestrutura e Potencial Econômico de uma Região

Podemos citar, pelo menos, três canais de transmissão pelos quais o desenvolvimento da infraestrutura contribui para o crescimento econômico e atividade industrial (Bom Ligthat, 2014, Wang, 2002, Aschauer, 1998, Sahoo e Dash, 2012, Fraga e Resende, 2022):

- i) O próprio investimento cria produção e estimula as atividades econômicas (efeito demanda efetiva);
- ii) Reduz os custos de transação e os custos de comércio, melhorando a competitividade (efeito oferta);
- iii) Proporciona oportunidades de emprego e infraestrutura física e social para a população mais pobre. (Sahoo e Dash, 2009)

A infraestrutura de uma região é a espinha dorsal que sustenta o crescimento e desenvolvimento econômico. Isso inclui as redes físicas, como transportes (rodovias, ferrovias, aeroportos e portos), energia (produção e distribuição de energia elétrica), comunicações (telecomunicações e internet) e utilidades (saneamento básico, água potável).

Um exemplo da importância da infraestrutura pode ser encontrado no estudo de Reinikka e Svensson (1999) que analisa o investimento privado em Uganda na década de 1990, que após importantes reformas econômicas e institucionais, no início da década, foi verificado que as condições de crédito para produção melhoraram substancialmente, principalmente em comparação aos outros países da África Subsaariana. Porém, as taxas de investimento privado não aumentaram. Segundo os autores, a precariedade da infraestrutura do país e a incerteza da disponibilidade de energia elétrica geraram custos e incertezas que inviabilizaram os investimentos privados.

Em 1997, em Uganda, as firmas ficavam em média 74 dias sem energia elétrica, o que gerava, principalmente para as firmas de grande porte, a necessidade de investir em geradores de energia. Os custos dessa energia eram cerca de 3 vezes maiores e representavam, em média, 16% do total investido e 25% do total investido em máquinas e equipamentos. Como consequência temos a queda da produtividade e a queda do retorno do capital investido, portanto, isso gerou menos disposição das empresas para investir.

O estudo de Aschauer (1989) se tornou seminal na análise dos efeitos do gasto público, investimento público e infraestrutura para a produtividade e crescimento econômico. A principal conclusão do estudo é que uma mudança das prioridades do gasto do governo, de investimento em capital para consumo, afetou negativamente a produtividade nos países do G7, no período de 1966 a 1985.

O investimento em infraestrutura é um importante via pelo lado da oferta em que o governo exerce influência no processo de crescimento sustentável. A *proxy* para infraestrutura é o gasto público em investimento não militar. O autor oferece evidência

empírica de que o investimento público influencia positivamente o investimento privado e o crescimento do produto privado, enfatizando que não é somente uma questão de composição do PIB.

Dado a crescente importância dos investimentos privados em infraestrutura, que no caso do Brasil, ganha notoriedade a partir dos anos 1990, a utilização da variável investimento público não é mais uma boa *proxy* para o investimento em infraestrutura. Estudos mais recentes procuram mensurar a infraestrutura de um país ou região de maneira alternativa como através do método PCA (*Principal Component Analysis*). Esse método, por considerar variáveis não monetárias apresenta vantagens, afinal o gasto em investimento em infraestrutura (variável monetária) não gera com a mesma eficiência a infraestrutura em distintas regiões.

Sahoo e Dash (2012) procurando mensurar a elasticidade do produto em relação a infraestrutura, para a Índia, Paquistão, Bangladesh e Sri Lanka no período de 1980 a 2005, utilizando técnicas de cointegração para dados em painel, construíram um índice de infraestrutura baseado em 6 variáveis e utilizou o método PCA (*Principal Component Analysis*) para definir os pesos. As seis variáveis são: 1) Consumo de eletricidade *per capita*; 2) Uso de energia *per capita* (kg de petróleo equivalente); 3) Telefone (fixo ou móvel) por 1000 habitantes; 4) Densidade férrea por 1000 habitantes; 5) Transporte Aéreo, fretes por milhão de toneladas por quilômetro; 6) Rodovias pavimentadas pelo total de rodovias. Os autores encontraram uma correlação positiva e significativa do desenvolvimento da infraestrutura, nesses países selecionados, e o substancial crescimento da região.

Uma outra aplicação do método PCA para a estimação de índices de infraestrutura pode ser encontrado no estudo de Medeiros, Ribeiro e Amaral (2022) encontraram uma redução da desigualdade regional oriunda do desenvolvimento de infraestrutura local em um modelo espacial hierárquico para o Brasil. Com a aplicação do método PCA, os autores lograram reduzir inúmeras variáveis a 5 índices: a) *Municipal Infrastructure Supply Index*; b) *State Infrastructure Supply Index*; c) *Municipal Infrastructure Quality Index*; d) *State Infrastructure Quality Index* e o mais geral e) *Infrastructure Access Index*.

2.2. Modelo Gravitacional de Comércio

O modelo gravitacional do comércio tenta prever o volume de comércio entre dois países (ou cidades, regiões etc.), com base em duas variáveis principais: o tamanho econômico dos países (PIB) e a distância entre eles. Devido o fato das exportações e importações estarem contidas no PIB, podemos utilizar a população de cada região como *proxy* do tamanho econômico da região (Figueiredo, 2014).

O modelo é análogo à Lei da Gravidade de Newton, que descreve a força de atração entre dois objetos como sendo proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional a distância entre eles. No contexto do comércio internacional, a 'massa' de um país é geralmente representada pelo seu Produto Interno Bruto (PIB) e a distância é medida entre as capitais ou os centros econômicos dos países.

De acordo com esse modelo, países maiores (em termos de PIB) tendem a comerciar mais entre si do que com países menores. Além disso, países que estão mais

próximos um do outro (em termos de distância geográfica) também tendem a comerciar mais.

No modelo que estamos desenvolvendo utilizaremos essas duas variáveis do modelo gravitacional como variáveis controle no intuito de captar o real efeito da infraestrutura nos fluxos de comércio. O raciocínio para a utilização do modelo gravitacional é simples: a) É esperado que Unidades da Federação (UFs) maiores, em termos de PIB ou população, apresentam maiores fluxos de comércio; b) É esperado que o comércio seja mais intenso em regiões mais próximas, devido aos custos de transporte menores e maiores similaridades em termos culturais que afetam o consumo.

3. Dados

3.1. Dados de Comércio

Os dados de comércio doméstico foram extraídos da base de dados do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) denominada Balança Comercial Interestadual². Os valores que originalmente estavam em reais (R\$) foram convertidos em dólar (US\$), de acordo com a taxa de câmbio anual disponível no IPEADATA³ e posteriormente foram ajustados para dólares de 2015 de acordo com o Índice de Preços ao Consumidor (*Consumer Price Index*) fornecido pelo *U.S Bureau of Labor Statistics*.

A distância por rodovia foi estimada pela rota escolhida pelo Google Maps entre as capitais dos estados. Por exemplo, de Curitiba a Porto Alegre. A distância aérea foi calculada através do site < www.distancecalculator.net>. Considerando a distância entre as capitais. Essa é a forma tradicional de medir distância em estudos empíricos.

Foram selecionadas 26 unidades da federação (UF), sendo 25 estados e o Distrito Federal. Foi necessário excluir o estado do Amapá, pois não existe rota rodoviária entre a cidade de Macapá, capital do estado, e outras capitais nacionais. Os dados foram coletados para o período de 2017 a 2020.

3.2. Índice de Infraestrutura Estadual

Na construção do Índice de Infraestrutura Estadual (IIE) foi utilizado 11 variáveis que medem em conjunto a disponibilidade de infraestrutura em quatro áreas: Comunicação, Energia, Transporte e Capital Humano (que inclui Saúde, Saneamento Básico e Água). Podemos verificar na Figura 1 que todas essas variáveis estão correlacionadas entre si, portanto, inclui-las em uma equação econométrica resultaria em problemas de multicolinearidade. A cor azul na Figura 1, nos mostra que a variável mortalidade infantil é a única correlacionada negativamente com as demais variáveis.

²<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNWU2YmI2Y2QtYWUxMy00ODBiLWE0OGMtMThkZTQ4MjQyMzJlIiwidCI6IjNlYzkyOTY5LTVhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>> Acesso em 12 de julho de 2023

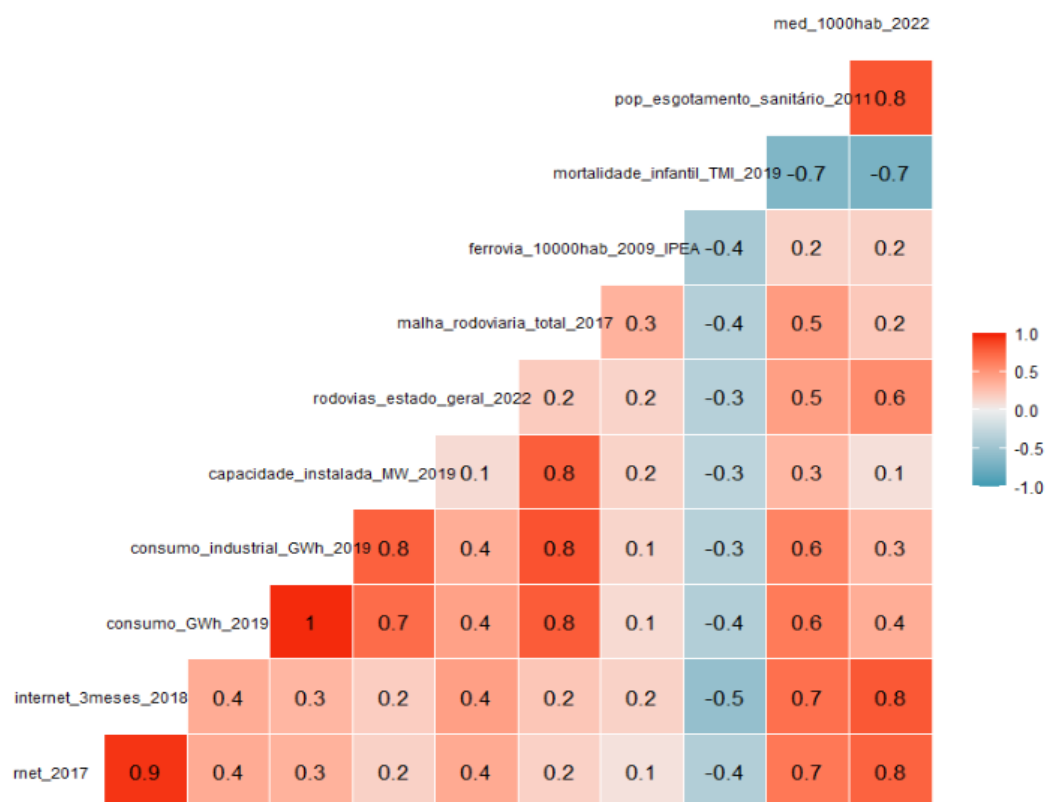
³<<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>> Acesso em 12 de julho de 2023

Tabela 1- Descrição das variáveis de infraestrutura selecionadas

Dimensão	Nome	Descrição
Comunicação	internet_2017	PNAD Contínua (TIC), quarto trimestre de 2017, % de domicílios permanentes por existência de utilização de internet
Comunicação	Internet_3meses_2018	PNAD Contínua (TIC), 2018, taxa de utilização de internet nos últimos 3 meses
Energia	consumo_GWh_2019	Consumo Total de energia elétrica, 2019, empresa de pesquisa energética, Ministério de Minas e Energia, Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020 (ano-base 2019)
Energia	consumo_industrial_GWh_2019	Consumo Industrial de energia elétrica, 2019, empresa de pesquisa energética, Ministério de Minas e Energia, Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020 (ano-base 2019)
Energia	capacidade_instalada_MW_2019	Capacidade Instalada de energia elétrica, 2019, empresa de pesquisa energética, Ministério de Minas e Energia, Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020 (ano-base 2019)
Transporte	rodovias_estado geral_2022	% de rodovias com qualidade boa ou ótima de acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2022
Transporte	malha_rodoviária_total_2017	Malha rodoviária pavimentada total (federal, estadual e municipal). Pesquisa CNT de Rodovias 2017
Transporte	ferrovia_10000habitantes_2009	km de ferrovias p/10000 habitantes
Capital Humano	mortalidade_infantil_TMI_2019	Boletim Epidemiológico nº 37 do Ministério da Saúde
Capital Humano	pop_esgotamento_sanitário_2011	Atlas de Saneamento 2011, com dados do Censo de 2010
Capital Humano	med_1000habitantes_2022	Número de médicos a cada 1000 habitantes, Demografia Médica do Brasil 2022 da Faculdade de Medicina da USP

Fonte: Feito pelos autores. A origem dos dados está na terceira coluna.

Figura 1- Matriz de correlação entre as variáveis



Feito pelos autores

O primeiro passo para a construção do índice é a elaboração dos componentes principais. A intenção é reduzir as 11 variáveis a poucos componentes principais para facilitar a análise e possibilitar a construção do índice. Na Tabela 2, temos os componentes principais, como existem 11 variáveis, temos 11 componentes principais (Mingoti, 2007).

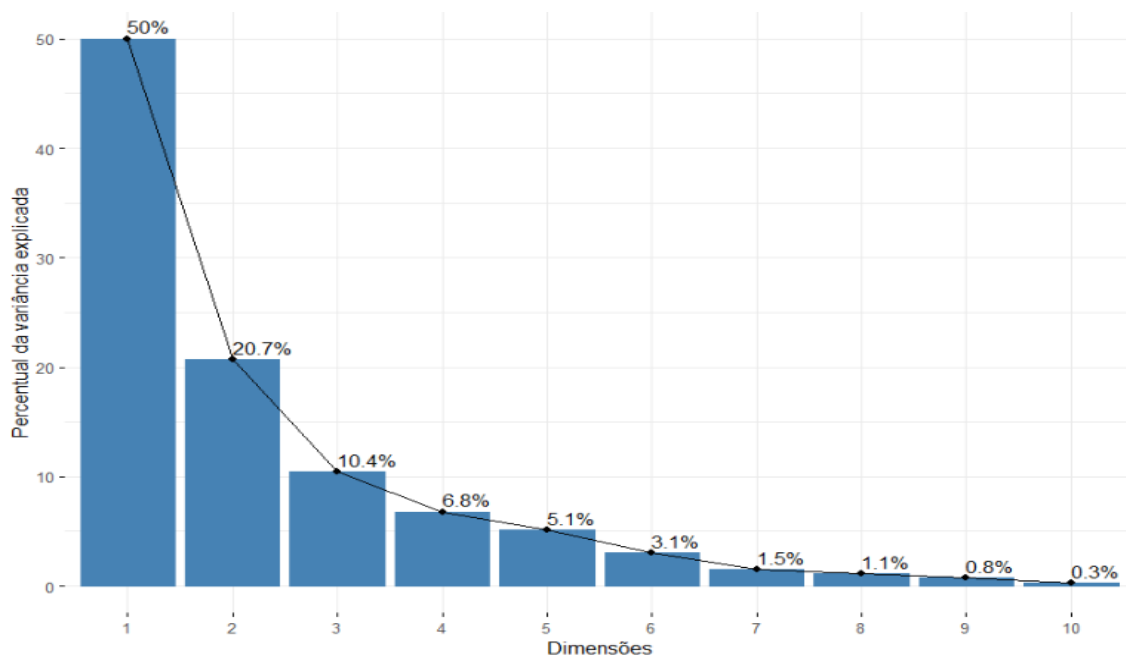
Tabela 2 – Análise de Componentes Principais

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Standard deviation	2.3458	1.5099	1.0719	0.86374	0.75168	0.57999
Proportion of Variance	0.5002	0.2073	0.1044	0.06782	0.05137	0.03058
Cumulative Proportion	0.5002	0.7075	0.8119	0.87977	0.93113	0.96172
	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	
Standard deviation	0.41228	0.34751	0.29170	0.18005	0.11353	
Proportion of Variance	0.01545	0.01098	0.00774	0.00298	0.00117	
Cumulative Proportion	0.97717	0.98815	0.99588	0.99883	1	

Feito pelos autores

Com os dados da Tabela 2, percebemos que com apenas 3 componentes principais conseguimos explicar mais de 80% da variância. Também verificamos esse resultado na Figura 2, que apresenta o *Screen Plot* do percentual da variância explicada. Esse é o gráfico de linha dos autovalores e é usado para determinar o número de componentes principais em uma análise de PCA.

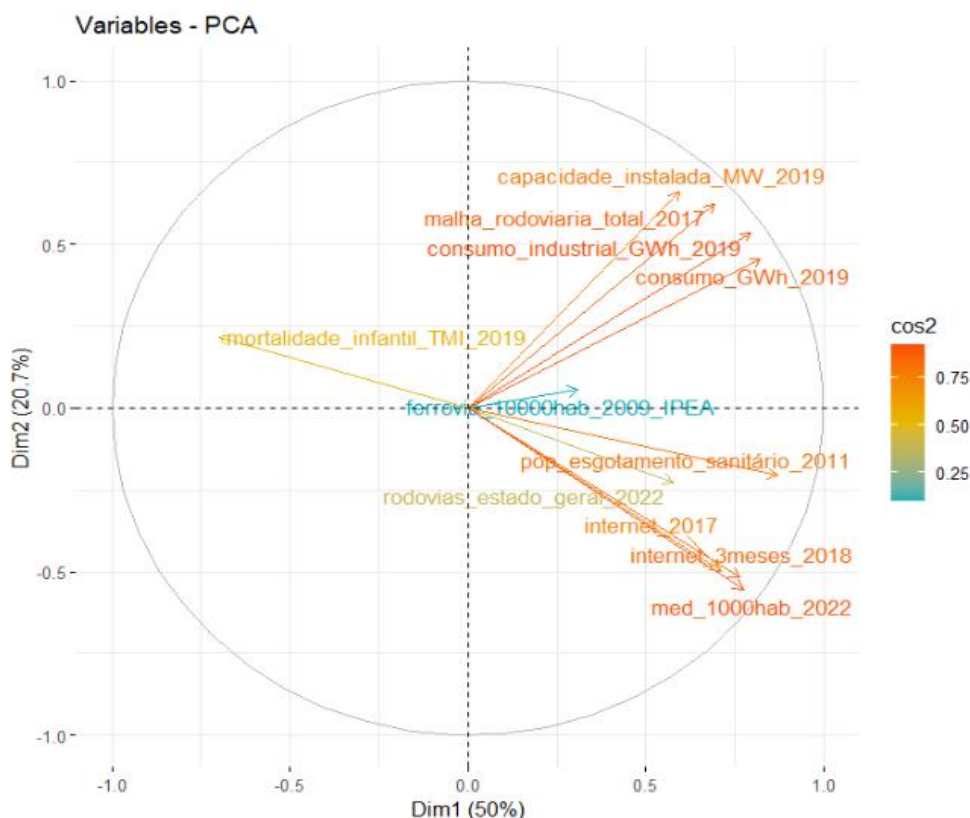
Figura 2- *Screen Plot* (percentual da variância explicada)



Feito pelos autores

Na Figura X, temos a qualidade da representação que mostra o quão bem as variáveis estão sendo representadas pelas duas primeiras dimensões. Podemos perceber que a única variável que contribui negativamente para o índice é a variável de mortalidade infantil.

Figura 3 – Qualidade da Representação



Feito pelos autores

Reduzimos as 11 variáveis iniciais a 3 componentes principais, nesse processo calculamos os escores (*scores*) de cada indivíduo (UFs) para cada componente principal. Para elaborarmos o índice utilizamos esses escores como demonstrado na equação 1.

$$IIE = \frac{0,5002 * scorePC1_{UF} + 0,2073 * scorePC2_{UF} + 0,1044 * scorePC3_{UF}}{0,8119} \quad (1)$$

Multiplicamos o $scorePC1_{UF}$ por 0,5002, pois o primeiro componente principal explica 50,02% da variância, o mesmo raciocínio se aplica ao segundo e terceiros componentes principais. Ponderamos o resultado por 0,8119, pois ao selecionarmos 3 componentes principais explicamos 81,19% da variância. Esse cálculo realizado para cada UF resulta na tabela abaixo.

Tabela 3- Índice de Infraestrutura Estadual

COD	UF	ÍNDICE DE INFRAESTRUTURA ESTADUAL
20	São Paulo	3.497837532
27	Distrito Federal	2.911267155
19	Rio de Janeiro	1.715533604
22	Santa Catarina	1.595329204
17	Minas Gerais	1.557366338

21	Paraná	1.435524318
23	Rio Grande do Sul	1.434929273
24	Mato Grosso do Sul	1.33544028
18	Espírito Santo	0.933346949
26	Goiás	0.551895686
12	Paraíba	-0.220143081
25	Mato Grosso	-0.358287505
13	Pernambuco	-0.360783467
11	Rio Grande do Norte	-0.44140543
15	Sergipe	-0.583880731
16	Bahia	-0.622592937
1	Rondônia	-0.703361064
4	Roraima	-0.705854451
7	Tocantins	-0.759887347
10	Ceará	-0.842211066
14	Alagoas	-0.881105338
6	Amapá	-1.455458261
5	Pará	-1.517844458
3	Amazonas	-1.66530445
9	Piauí	-1.755899275
2	Acre	-1.969484092
8	Maranhão	-2.12496758

4. Estimação Empírica

As equações estimadas através do método de MQO agrupado são as seguintes:

$$lfluxo_{i,j} = \alpha + \beta lINFRAXx_i + \gamma lINFRAMm_j + \eta ldistrod_{i,j} + \delta lpopX + \pi lpopM + u_{i,t} \quad (2)$$

$$lfluxo_{i,j} = \alpha + \beta lINFRAXx_i + \gamma lINFRAMm_j + \eta ldistaer_{i,j} + \delta lpopX + \pi lpopM + u_{i,t} \quad (3)$$

A diferença entre a equação (1) e a equação (2) é a forma de mensurar a distância. Na primeira equação utilizamos a distância aérea, por ser a forma convencional de

mensuração nas estimações de modelos gravitacionais. Na equação (2) utilizamos a distância rodoviária por dois motivos: a) Oferecer um teste de robustez; b) a distância rodoviária está mais diretamente relacionada com os custos e a infraestrutura de transportes.

Tabela 4 – Descrição das Variáveis e Resultados Esperados

Variável	Sinal Esperado	Conceito
$lfluxo_{i,j}$: fluxo de exportação entre a região i e a região importadora j	Variável dependente	
INFRA_X: infraestrutura da região exportadora	(+)	Uma melhor qualidade em infraestrutura permite uma maior eficiência e diversidade produtiva, possibilitando maior comércio
INFRA_M : infraestrutura da região importadora	(+)	Uma melhor qualidade em infraestrutura tem o potencial de elevar a renda da região, portanto, elevando as compras do estado.
dist_aer: Distância aérea	(-)	De acordo com a equação gravitacional, o comércio diminui quanto maior as distâncias entre as regiões
dist_rod: Distância por rodovia	(-)	A distância por rodovia é uma <i>proxy</i> para o custo de transporte
pop_X: população da região exportadora	(+)	O tamanho da população é um <i>proxy</i> para o tamanho da região, de acordo com o modelo gravitacional de comércio é esperado uma relação positiva.
pop_M : população da região importadora	(+)	O tamanho da população é um <i>proxy</i> para o tamanho da região, de acordo com o modelo gravitacional de comércio é esperado uma relação positiva

Tabela 5 – Estimação da Equação 1

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-valor
Const	-8,61520	1,29893	-6,633	0,0000

INFRA_X	0,203467	0,0288514	7,052	0,0000
INFRA_M	0,0785057	0,0300165	2,615	0,0089
l_pop_x	1,35776	0,0508196	26,72	0,0000
l_pop_m	0,967633	0,0489523	19,77	0,0000
l dist rod	-1,07140	0,0610666	-17,54	0,0000

Descrição: MQO agrupado, usando 2600 observações. Incluídas em 650 unidades de corte transversal. O comprimento da série temporal é 4. A variável dependente é *l_remissa_corrigida*. A estimação foi feita através de erros padrão robustos (HAC). R-quadrado de 0,7990.

Tabela 6 – Estimação da Equação 2

	Coefficiente	Erro Padrão	z	p-valor
Const	-8,66433	1,27373	-6,802	0,0000
INFRA_X	0,216393	0,0281113	7,698	0,0000
INFRA_M	0,0910715	0,0293170	3,106	0,0019
l_pop_x	1,36496	0,0514047	26,55	0,0000
l_pop_m	0,974971	0,0486202	20,05	0,0000
l dist aer	-1,13494	0,0613481	-18,50	0,0000

Descrição: MQO agrupado, usando 2600 observações. Incluídas em 650 unidades de corte transversal. O comprimento da série temporal é 4. A variável dependente é *l_remissa_corrigida*. A estimação foi feita através de erros padrão robustos (HAC). R-quadrado de 0,8022.

5. Resultados e Discussão

Na estimação que mensura a distância através da distância rodoviária, um aumento de 1 ponto no índice de infraestrutura do estado exportador gera um aumento de 20,34% no fluxo de seu comércio com os demais estados, um resultado substancial e significativo estatisticamente. Um aumento do IIE do estado importador de 1 ponto eleva suas importações em 7,85%. Isso é resultado do potencial da infraestrutura em elevar a renda estadual.

A diferença substancial entre as exportações e importações dado uma elevação de 1 ponto no IIE demonstra a importância dela no crescimento econômico de uma UF. Resultados similares foram encontrados quando foi feita a estimação da distância através da distância aérea.

Como previsto pelo modelo gravitacional do comércio, o aumento em 1% da distância rodoviária diminui o fluxo de comércio em 1,07% e um aumento de 1% na distância aérea, gera uma queda de 1,13% no fluxo. Os coeficientes das variáveis de população, que mensuram o tamanho da UF, foram consistentes com o modelo gravitacional.

6. Conclusão

A construção de um Índice de Infraestrutura Estadual nos permitiu mensurar os efeitos da qualidade e disponibilidade de infraestrutura no volume de comércio interestadual. Os resultados das estimações feitas com a distância aérea e rodoviária foram muito similares. O aumento de 1 ponto no IIE do estado exportador resulta em cerca de 21% de aumento de seu fluxo de comércio. E o aumento de 1 ponto no IIE gera um aumento de 7 a 9% do fluxo de comércio importador.

A diferença substancial entre as exportações e importações dada uma elevação de 1 ponto no IIE demonstra a importância da infraestrutura no crescimento econômico de uma UF. Esse resultado implica que a ampliação da infraestrutura, que pode ser feita pelo poder público, tem um grande potencial de gerar crescimento econômico. Esse resultado está de acordo com os resultados encontrados pelo trabalho seminal de Aschauer (1989).

7. Referências Bibliográficas

ASCHAUER, David Alan. Is public expenditure productive?. *Journal of monetary economics*, v. 23, n. 2, p. 177-200, 1989.

BOM, Pedro RD; LIGTHART, Jenny E. What have we learned from three decades of research on the productivity of public capital?. *Journal of economic surveys*, v. 28, n. 5, p. 889-916, 2014.

FIGUEIREDO, Erik et al. Uma análise para o efeito-fronteira no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, v. 68, p. 481-496, 2014.

FRAGA, Jefferson S.; RESENDE, MARCO FLÁVIO DA CUNHA. Infraestrutura, expectativas privadas e investimento. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 42, p. 678-696, 2022.

MEDEIROS, Victor; SAULO MARQUES RIBEIRO, Rafael; VASCONSCÉLOS MAIA DO AMARAL, Pedro. Infrastructure and income inequality: An application to the Brazilian case using hierarchical spatial autoregressive models. *Journal of Regional Science*, 2022.

MINGOTI, Sueli Aparecida. Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada. In: *Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. 2007.

REINIKKA, Ritva; SVENSSON, Jakob. How inadequate provision of public infrastructure and services affects private investment. *The World Bank*, 1999.

SAHOO, Pravakar; DASH, Ranjan Kumar. Economic growth in South Asia: Role of infrastructure. *The Journal of International Trade & Economic Development*, v. 21, n. 2, p. 217-252, 2012.

SAHOO, Pravakar; DASH, Ranjan Kumar; NATARAJ, Geethanjali. China's growth story: The role of physical and social infrastructure. 2012.

WANG, Eric C. Public infrastructure and economic growth: a new approach applied to East Asian economies. *Journal of Policy Modeling*, v. 24, n. 5, p. 411-435, 2002.