

**O CUSTO DE TRANSPORTE COMO DETERMINANTE DO DESENVOLVIMENTO
SOCIOECONÔMICO DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

FERNANDO VINÍCIUS DA ROCHA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

EVERTON LIMA COSTA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

ABNER MATHEUS JOÃO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

O CUSTO DE TRANSPORTE COMO DETERMINANTE DO DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS

1. INTRODUÇÃO

Investimento em infraestrutura é considerado passo importante para o desenvolvimento de países, estados e municípios. As discussões sobre as infraestruturas do transporte de carga são recorrentes no Brasil. As más condições das estradas, a baixa disponibilidade de modais alternativos para o transporte de cargas, o impacto dos custos de transporte nos diferentes setores da economia brasileira e o baixo investimento em infraestrutura de transporte no país estão entre os assuntos normalmente debatidos.

Com essa problemática em evidência, diversos programas de investimento em infraestrutura foram criados ao longo do desenvolvimento brasileiro. Nesse leque de políticas de investimento, os mais recentes são o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), o Programa de Investimento em Logística (PIL) e o Programa de Parceria de Investimentos (PPI).

Apesar de estarem associados a governos federais diferentes, tais projetos têm em comum o fato de objetivarem, com a condução das obras, a retomada da economia brasileira a partir da geração de empregos e o aumento da competitividade do país. Faz-se o uso, portanto, dos investimentos em infraestrutura para promover a redução dos custos de transporte e o aumento do desenvolvimento socioeconômico.

Sob a ótica do desenvolvimento social, equidade e acessibilidade na disponibilização das infraestruturas são variáveis frequentemente utilizadas nas análises. Para parte dos autores, as políticas públicas para o desenvolvimento do transporte devem direcionar esforços para o atendimento de regiões menos favorecidas e para o estabelecimento de uma equidade entre as localidades diversas (favorecimento de localidades com menor grau de desenvolvimento, com alocação distributiva de recursos).

Inserido nesse contexto, o presente artigo objetiva avançar na discussão que relacionada o desenvolvimento socioeconômico a partir de investimentos em infraestrutura de transporte. A discussão tem como objetivos de análise municípios brasileiros produtores de soja, que terão o seu grau de desenvolvimento socioeconômico analisado a partir de uma série de indicadores, dentre eles o custo de transporte. Nessa vertente analisada, a hipótese a ser testada pelo trabalho é: *“h1: localidades com custos de transporte inferiores apresentam maior grau de desenvolvimento socioeconômico”*.

O artigo é estruturado em outras quatro seções além dessa introdução. Na sequência é conduzida uma revisão de literatura de forma a consolidar os principais trabalhos que tratam dessa relação central aqui discutida. A terceira seção aborda a metodologia utilizada para análise desse artigo, que é seguida pelos capítulos de discussão dos resultados e de considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Infraestrutura e desenvolvimento

Trabalhos diversos na literatura acadêmica abordam a relação entre infraestrutura (e operações) de transporte com impactos ambientais e com custos. Também é consolidada a ideia dos impactos socioeconômicos diversos trazidos pelo investimentos em infraestrutura de transporte em diferentes localidades.

Nessa gama de artigos, Wang et al. (2018) mostram que os impactos de infraestruturas de transporte têm dimensões econômicas, ambientais e sociais. Os autores ressaltam a complexidade dos impactos gerados por esse tipo de infraestrutura na economia, além de destacarem como tendência futura para pesquisas nessa temática o estudo integrado dos diferentes impactos potenciais.

Snieska e Simkunaite (2009) focam na avaliação dos impactos socioeconômicos gerados por investimentos de infraestrutura, dentre eles os de transporte. Analisando o caso de países bálticos, os autores mostram relação direta entre a quantidade de rodovias pavimentadas e o PIB regional para a Lituânia, Letônia e Estônia. Snieska e Simkunaite (2009) ainda pontuam que a falta de uma metodologia única na literatura acadêmica dificulta a avaliação dos impactos sociais e econômicos decorrentes do desenvolvimento de novas infraestruturas.

O trabalho de Rovoli e Spence (2002) analisa o investimento público grego em infraestrutura, de modo a medir os eventuais impactos desses investimentos na economia. A conclusão dos autores evidencia a existência de impactos positivos no desempenho dos agentes privados da economia. Adicionalmente, Rovoli e Spence (2002) mostram que os investimentos públicos em infraestrutura de transporte, classificados pelos autores como infraestrutura produtiva, têm uma relação de complementariedade com o investimento privado nas localidades analisadas.

Olsson (2009), na mesma linha dos autores acima citados, mostra que a existência de uma infraestrutura de transporte inadequada restringe o desenvolvimento socioeconômico. Tal relação é mais evidente em países em desenvolvimento, os quais são caracterizados por ligações rodoviárias de pior qualidade e/ou inexistentes. O autor analisa a existência de impactos diretos (tempo de viagem, custos com combustível e manutenção de veículos, sazonalidade no transporte e atrasos) e indiretos (alterações no investimento regional, produtividade, nível de emprego, acessibilidade aos mercados, renda, dentre outros) decorrentes dos investimentos em uma rodovia na Filipinas.

Por meio de uma análise multicritério, com questionários aplicados junto às firmas e aos residentes locais, dentre outros indicadores socioeconômicos, Olsson (2009) mostra que a existência dessa rodovia ligando as duas regiões analisadas aumentou o comércio, o investimento regional e a competição entre as firmas locais, além de incentivar a produção local que era originalmente restringida pela falta de acessibilidade. O autor ainda evidencia os impactos dessa rodovia na atividade pesqueira local, a qual era bastante limitada na situação anterior à concretização do investimento.

Com aplicações para localidades chinesas, Sun e Cui (2018) fazem análises dos benefícios sociais, econômicos e ambientais trazidos pela existência de infraestrutura de transporte público. Os autores são categóricos em afirmar que esses benefícios estão interconectados, o que demanda uma análise conjunta das três esferas. Os autores consideram variáveis como o produto interno bruto, receita fiscal, nível de consumo, nível de investimento em ativos fixos, lucratividade da indústria, nível de investimento estrangeiro e o turismo como variáveis econômicas. Como variáveis para medição dos impactos sociais tem-se os níveis de renda, de emprego, de urbanização, de matrículas escolares e saúde dos habitantes.

A partir de uma análise de índices criados e dados em painel, eles demonstram a maior dimensão dos impactos econômicos atrelados aos investimentos em infraestrutura de transporte público. Na sequência, os impactos ambientais também apresentam significativa relevância nos modelos apresentados, ao passo que os impactos sociais se apresentam com menor dimensão (impacto reduzido).

Xia et al. (2016) trazem em perspectiva a relação entre a exclusão social e a disponibilidade de infraestrutura de transporte. Os autores, utilizando uma abordagem multidimensional (a oferta e a demanda por transporte nas cidades), avaliam as diferenças na disponibilidade de infraestrutura de transporte em duas regiões da Austrália e o impacto potencial desta em indicadores como o Índice de Gini e a Curva de Lorenz. Xia et al. (2016) mostram que o acesso a moradias, influenciado pela renda, preço das casas e custos de transporte, está entre os fatores que mais contribuem para o aumento da desigualdade no acesso ao transporte. Os autores também apontam a existência de políticas públicas para o desenvolvimento do transporte urbano como opções para diminuir a ocupação de áreas periféricas das cidades e melhorar a acessibilidade ao transporte.

Vermeiren et al. (2015) trazem uma abordagem sobre o desenvolvimento do transporte urbano. O caso analisado pelos autores retrata a problemática da implantação de um sistema de ônibus de transporte rápido em Kampala (Uganda). Para os autores, benefícios diversos são trazidos pela implantação desse sistema, com impactos no aumento da acessibilidade e oportunidades para parte da população. Por outro lado, a implantação desse sistema não beneficia a parcela mais pobre da população por dois motivos: distância desses centros aos bairros e custo elevado da passagem. Os autores destacam o potencial de aumento na vulnerabilidade do acesso a oportunidades causado por esse sistema de transporte.

Para Sakib et al. (2018), o transporte é ponto crucial na busca pelo desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável pelo transporte de passageiros e maior acessibilidade passa pelas seguintes áreas: infraestrutura, distância até os centros urbanos, disponibilidade de transporte público e multimodalidade. Sakib et al. (2018) analisam o transporte e acessibilidade em países do Mediterrâneo a partir do levantamento de uma série de indicadores tais como: número de berços nos portos da região, tamanho dos navios de passageiros, distância dos centros urbanos, disponibilidade de transporte público, dentre outros. Os resultados trazem um comparativo entre os portos utilizados no transporte de passageiros, além de mostrarem que o transporte marítimo nessa localidade é de elevada importância para a manutenção da integração econômica regional.

Taylor (2008), também abordando aspectos do desenvolvimento da infraestrutura de transporte nos centros urbanos, desenvolve um método para a identificação de locais críticos na rede de transporte rodoviário no que diz respeito ao potencial de ocorrência de congestionamentos. Ao incluir na modelagem aspectos como a demanda por viagens, a capacidade e a geometria das ruas, o autor pontua que essa abordagem traria benefícios ao se estabelecer um ponto de vista mais preciso sobre a vulnerabilidade potencial de cada local. Para o autor, essa abordagem reduz a pressão existente sobre a necessidade de novos investimentos em infraestrutura de transporte, uma vez que permite a preparação prévia dos locais da rede viária urbana com maior vulnerabilidade.

Vučković et al. (2018), ao conduzirem a aplicação de questionários junto à população de algumas regiões da Sérvia, mostram como os investimentos em rodovias que ocorreram até o final da década de 1990 moldam a percepção da população local. Entre as principais conclusões, os autores evidenciam que: (i) a baixa qualidade da infraestrutura de transporte em uma das regiões analisadas atua contra o desenvolvimento do comércio e do turismo; (ii) existe uma expectativa positiva em relação aos benefícios na mobilidade urbana que potencialmente podem ser trazidos a partir da construção de uma ferrovia planejada na região.

Sanchez-Ollero et al. (2014) apresentam uma série de indicadores ao dissertarem sobre os benefícios econômicos (principalmente para o setor do turismo), de integração social e ambientais resultantes do desenvolvimento da malha ferroviária na Espanha. Custos de transporte, evolução do número de viagens e tendência observada na economia local estão entre as principais métricas analisadas pelos autores. A conclusão do artigo ressalta a importância da manutenção das políticas de ampliação da malha ferroviária na país apesar da tendência de redução no número de passageiros, conseqüente da crise econômica.

Pelos trabalhos listados, nota-se que é ampla a discussão que retrata a relação existente entre o desenvolvimento de infraestruturas de transporte e os impactos socioeconômicos derivados. Tal relação, que é tema central de análise desse artigo, pode ser considerada ponto de partida para análises e tomadas de decisão relacionadas ao provimento de novos investimentos em infraestrutura de transporte.

2.2. Indicadores e Desenvolvimento

De acordo com o Programa para Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (UNDP, 1990), o desenvolvimento humano é o processo de aumentar a escolha das pessoas. Três escolhas são definidas como principais: (i) ter uma vida longa e saudável; (ii) ser educado; e (iii) desfrutar de um padrão de vida decente. Estas variáveis foram traduzidas para

informações pré-existent: (i) expectativa de vida (X_1); (ii) grau de escolaridade (X_2); e (iii) Produto Interno Bruto (PIB) real per capita, em \log (X_3).

Como primeiro passo, um valor máximo e mínimo é definido para cada uma das três variáveis baseado nos valores reais e a expressão (1) apresenta a formulação responsável pela medição e alocação dos países em valores entre 0 e 1, como definido pela diferença entre o máximo e o mínimo previamente selecionado. Assim, I_{ij} é o indicador para o país j e para a variável i .

$$I_{ij} = \frac{\left(\max_j X_{ij} - X_{ij} \right)}{\left(\max_j X_{ij} - \min_j X_{ij} \right)} \quad (1)$$

Em segunda instância, um indicador médio é definido para cada país, I_j , calculado com base em média aritmética simples, como em (2).

$$I_j = \sum_{i=1}^3 I_{ij} \quad (2)$$

Por fim, no terceiro passo, o Índice de Desenvolvimento Humano do país j é definido pela simples expressão (3).

$$(IDH)_j = (1 - I_j) \quad (3)$$

O IDH é o principal indicador de desenvolvimento social, sendo popularizado desde sua criação e adoção deste indicador como medida do grau de desenvolvimento humano de um país pela Organização das Nações Unidas. Comumente há uma atualização anual dos valores definidos para cada país, e o último documento é referente ao IDH do ano de 2018 (UNDP, 2019) em que o Brasil está lista na 79ª colocação tendo IDH de 0,761, como um país que apresenta um alto índice de desenvolvimento humano (0,7 a 0,8). Os países com o índice entre 0,801 e 1 estão listados como altíssimo desenvolvimento humano, em que o primeiro colocado, Noruega, apresenta um índice no valor de 0,954, seguida pela Suíça (0,946) e Irlanda (0,942). A divisão ainda é agrupada em médio desenvolvimento (0,55 a 0,699) e baixo desenvolvimento (inferior a 0,549).

O IDH brasileiro em 1990 era 0,613, sendo um país com nível de desenvolvimento médio. Em 2010 o índice brasileiro era 0,726, já na faixa de consideração de alto desenvolvimento. Em cinco anos, de 2013 a 2018 o índice passou de 0,752 a 0,761, entretanto o país perdeu três posições no *ranking* da UNDP. A taxa de crescimento média anual de 2000 a 2018 é de 0,59%, praticamente metade do que foi entre 1990 a 2000 (1,11%).

Por ser uma abordagem nacional, o IDH do Brasil pode representar melhor algumas regiões e não outras, por isso, em 2012, o IDH Municipal (IDHM) foi organizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD Brasil), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e Fundação João Pinheiro (FJP), através do Atlas do Desenvolvimento, para calcular o IDH municipal dos 5.565 municípios brasileiros. Os componentes são os mesmos da metodologia original do IDH apresentada, porém com recorte municipal: (i) IDHM Longevidade: medido pela expectativa de vida ao nascer; (ii) IDHM Educação: sendo a média geométrica (raiz cúbica) da escolaridade da população adulta com o fluxo escolar da população jovem, com pesos respectivos 1 e 2; e (iii) Renda: sendo a renda per

capita. Por fim é realizada outra média geométrica com pesos iguais para os três componentes (Atlas do Desenvolvimento, 2019).

A classificação das faixas de desenvolvimento humano é diferente, sendo cinco faixas: (i) muito alto: superior a 0,800; (ii) alto: de 0,700 a 0,799; (iii) médio: de 0,600 a 0,699; (iv) baixo: de 0,500 a 0,599; e (v) muito baixo: inferior a 0,499.

O último censo remete ao ano de 2010, neste o município de São Caetano do Sul (SP) é o primeiro colocado em IDHM, com um índice de 0,862 e o último colocado é o município de Melgaço (PA), com IDHM de 0,418. O município de São Paulo (SP) possui IDHM de 0,805 e a capital federativa, Brasília (DF) possui IDHM de 0,824.

3. METODOLOGIA

Em termos metodológicos, o presente artigo faz o uso de duas abordagens complementares. A principal é relacionada à análise dos determinantes do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal das localidades produtoras de soja no Brasil. Essa análise é realizada a partir da estruturação de um modelo de regressão múltipla apresentado pela expressão matemática 4.

$$\begin{aligned} \ln IDHM_i = & \beta_0 + \beta_1 CUSTO_i + \beta_2 PIBAGROPEC_i + \beta_3 PIBPERCAPTA_i \\ & + \beta_4 POP_i + \beta_5 GINI_i + \beta_6 CENTROOESTE_i + \beta_7 SUL_i \\ & + \beta_8 SUDESTE_i + \beta_9 NORTE_i + e \end{aligned} \quad (4)$$

Para caso aqui analisado, i representa os municípios produtores de soja no Brasil no ano de 2017 (IBGE, 2018). A variável dependente é retratada como $\ln IDHM_i$, que mede o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das localidades produtoras de soja i . Os valores do IDHM foram obtidos a partir da base de dados do Atlas do Desenvolvimento (2018) e fazem referência ao ano de 2010, sendo aplicado a transformação dos dados utilizando o logaritmo neperiano (\ln). Cabe destacar que dos 2.274 municípios produtores de soja no ano de 2017, dois não foram considerados nessa análise em função de não estarem disponíveis informações sobre o IDHM. As localidades excluídas dessa análise foram: Mojuí dos Campos (PA) e Paraíso das Águas (MS).

Como variável explicativa do modelo de regressão linear múltipla, $CUSTO_i$ representa o custo médio de transporte de soja, em reais por tonelada produzida, do município i . Tal variável foi obtida por meio dos resultados do modelo de minimização de custos de transporte, método que será apresentado na sequência.

As demais variáveis foram inseridas no modelo unicamente tendo a função de controle das equações (variáveis de controle), sendo descritas na sequência:

- i. A variável $PIBAGROPEC_i$ apresenta valores do Produto Interno Bruto relativo ao setor da agropecuária do município i . Os dados foram obtidos junto ao IBGE (2019) e são relativos ao ano de 2016 (valores em mil reais).
- ii. POP_i retrata a estimativa populacional dos municípios brasileiros para o ano de 2017, de acordo com dados do IBGE (2019). Os dados são apresentados na unidade “número de habitantes”.
- iii. $PIBPERCAPTA_i$ diz respeito ao valor total do Produto Interno Bruto (PIB) por habitante do município i , em reais. Tal variável foi obtida com base nas informações do PIB municipal do ano de 2016 (IBGE, 2019) e da variável POP_i acima detalhada – divisão do PIB municipal pelo número de habitantes do município.

- iv. $GINI_i$ representa o Índice de Gini da Renda Domiciliar Per Capita. Os dados foram obtidos junto à base de dados do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (2019) e fazem referência ao ano de 2010.
- v. As variáveis $CENTROOESTE_i$, SUL_i , $SUDESTE_i$ e $NORTE_i$ são variáveis binárias que retratam a localização do município i nas regiões brasileiras. Em SUL_i , por exemplo, a variável tem valor igual a 1 se i é localizado na região sul do país, caso contrário tem valor igual a zero. A mesma lógica se aplica as demais variáveis binárias.

Por fim, β_0 representa o intercepto e e o termo de erro da regressão.

Com o intuito de realizar essa análise, será estimado um modelo de regressão linear múltipla, por meio de mínimos quadrados ordinários. Através desse, conforme aponta Wooldridge (2010) se busca a minimização dos quadrados dos resíduos dos parâmetros estimados, de forma que se obtenha estimadores não tendenciosos de variância mínima para os parâmetros.

A estimação por meio de MQO é confiável mediante a validação das hipóteses presentes no Teorema de Gauss-Markov. Dentre essas hipóteses, deve-se analisar com maior detalhamento a relacionada a variância constante do termo do erro, ou seja, essa deve ser igual independentemente da combinação das variáveis explicativas. A não validade dessa preposição não invalida as características relevantes de não tendenciosidade dos estimadores, no entanto, não é possível a confiança no coeficiente de determinação bem como nos intervalos de confiança e inferência sobre os estimadores. Assim, realizou-se a verificação dessa hipótese por meio do teste de Breush-Pagan.

Além desse, com o intuito de testar a validade de outras proposições do modelo de regressão linear múltipla, verificou-se por meio do teste de VIF (*Variance Inflation Factor*) a existência de correlação entre as variáveis (colinearidade). De maneira formal, a multicolinearidade decorre da dependência linear das variáveis regressoras. Embora essa condição não altere a eficiência dos estimadores, a análise se faz necessário frente a possibilidade dessa dependência afetar a prática aplicabilidade do modelo.

Além disso, e por meio do teste de Shapiro Wilk, buscou-se identificar se os resíduos seguem uma distribuição normal. Wooldridge (2010) aponta que essa, que é uma das principais hipóteses de Gauss Markov, decorre da suposição de que uma vez que o termo de resíduos aponta os diversos fatores que interferem na variável dependente estimada, devem seguir uma distribuição normal, com base no Teorema do Limite Central.

Uma vez identificado o problema de variância inconstante não é possível confiar nos valores dos testes t e F e indicar a significância dos parâmetros estimados. Dessa forma, com o intuito de possibilitar essa análise, fez-se, após as estimativas de MQO o uso dos erros padrão robustos de White-Huber, em função da forma desconhecida de heterocedasticidade.

Como supracitado, os valores da variável $CUSTO_i$ foram obtidos a partir da estruturação de um modelo de programação linear para a minimização dos custos de transporte de soja no Brasil. Tal etapa de modelagem visa obter a configuração ótima de fluxos do transporte de soja no país, com mínimo custo possível. O modelo é estrutura considerando as seguintes possibilidades de transporte:

- i. Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor) aos portos exportadores;
- ii. Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor) aos terminais de transbordo hidroviários e ferroviários atualmente existentes e que movimentam soja no Brasil;
- iii. Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor) às indústrias moageiras de soja (mercado interno, caracterizado pelos locais de produção de óleo e de farelo de soja);
- iv. Transporte ferroviário e transporte hidroviário de carga dos terminais de transbordo atualmente existentes aos portos; e

- v. Transporte marítimo de soja dos portos brasileiros até o destino final no mercado internacional (países que importam soja do Brasil).

Cabe acrescentar que os fluxos de carga com destino às indústrias do mercado interno são todos realizados via modal rodoviário. Tal premissa é condizente com a realidade do transporte soja no Brasil, em que as operações ferroviárias e hidroviárias são utilizadas apenas nos fluxos de carga para exportação.

Os índices do modelo matemático de otimização estão definidos conforme apresentado a seguir.

- i. i : pontos de origem de carga (municípios brasileiros produtores de soja);
- ii. j : terminais de transbordo multimodal (modais rodoviário e ferroviário) atualmente existentes;
- iii. k : portos exportadores de soja;
- iv. m : mercado externo (destino das exportações de soja);
- v. q : mercado interno (indústrias moageiras de soja no Brasil); e
- vi. $tporto(jk)$: fluxos de transporte possíveis entre os terminais de transbordo multimodal existentes e os portos exportadores.

Os parâmetros do modelo matemático são definidos da seguinte forma:

- i. A_i : produção de soja nos municípios i , em toneladas;
- ii. B_j : capacidade de transporte dos terminais de transbordo multimodal existentes j , em toneladas;
- iii. C_k : capacidade de exportação dos portos k , em toneladas;
- iv. E_m : demanda de carga do mercado externo m , em toneladas;
- v. MI_q : demanda de carga do mercado interno q , em toneladas;
- vi. F_{ij} : frete rodoviário entre as cidades produtoras i e os terminais de transbordo multimodais j , em reais por tonelada;
- vii. G_{ik} : frete rodoviário entre as cidades produtoras i e os portos k , em reais por tonelada;
- viii. S_{iq} : frete rodoviário entre as cidades produtoras i e o mercado interno q , em reais por tonelada;
- ix. O_{jk} : frete multimodal entre os terminais de transbordo existentes j e os portos k , em reais por tonelada;
- x. N_{km} : frete marítimo entre os portos k e o mercado externo m , em reais por tonelada;

As variáveis de decisão do modelo matemático de otimização são:

- i. X_{ij} : quantidade de carga transportada entre as origens i e os terminais de transbordo multimodais j , em toneladas;
- ii. Y_{ik} : quantidade de carga transportada entre as origens i e os portos k , em toneladas;
- iii. T_{iq} : quantidade de carga transportada entre as origens i e os municípios com moageiras q , em toneladas;
- iv. W_{jk} : quantidade de carga transportada entre os terminais de transbordo multimodais j e os portos k , em toneladas; e
- v. U_{km} : quantidade de carga transportada entre os portos k e o destino final m , em toneladas.

Todas as variáveis são definidas como positivas no modelo matemático, devendo assumir valor maior ou igual a zero.

A função objetivo do modelo matemático visa a minimização do custo total do transporte de grãos no Brasil (R) e é apresentada na equação (5).

$$R = TRPONTA_{ij} + TRPORTO_{ik} + TMPORTO_{jk} + TDESTINO_{km} + TRMOAGEIRAS_{iq} \quad (5)$$

Nessa função objetivo, $TRPONTA_{ij}$ diz respeito ao custo de transporte, em reais, entre as origens de carga e os terminais de transbordo atualmente existentes (transporte rodoviário de ponta), conforme definição apresentada na equação (6).

$$TRPONTA_{ij} = \sum_{ij} (F_{ij} * X_{ij}) \quad (6)$$

$TRPORTO_{ik}$ representa a parcela de custo associada ao transporte rodoviário de carga entre os locais de origem e os portos (transporte rodoviário direto), em reais. A definição dessa parcela é apresentada na equação (7).

$$TRPORTO_{ik} = \sum_{ik} (G_{ik} * Y_{ik}) \quad (7)$$

$TMPORTO_{jk}$ é a parcela do custo total, em reais, relativa aos fluxos de transporte multimodal (transporte ferroviário e transporte hidroviário) entre os terminais de transbordo atualmente existentes e os portos, conforme definido na equação (8).

$$TMPORTO_{jk} = \sum_{jk} (O_{jk} * W_{jk}) \quad (8)$$

$TDESTINO_{km}$ é a parcela relativa ao transporte marítimo realizado entre os portos brasileiros e os portos do destino final da carga exportada. Essa parcela, portanto, representa os custos do transporte internacional de cargas, conforme definição apresentada na equação (9).

$$TDESTINO_{km} = \sum_{km} (N_{km} * U_{km}) \quad (9)$$

Os fluxos de transporte atrelados as movimentações para o abastecimento da demanda do mercado interno são representados por $TRMOAGEIRAS_{iq}$. Essa parcela do custo total representa as movimentações, via modal rodoviário, que ocorrem entre os pontos de origem de carga e as indústrias moageiras de soja (locais de produtos de óleo e farelo de soja). A definição é apresentada na equação (10).

$$TRMOAGEIRAS_{iq} = \sum_{iq} (S_{iq} * T_{iq}) \quad (10)$$

A função objetivo R está sujeita ao conjunto de restrições abaixo apresentado.

A expressão matemática (11) define a restrição de oferta de carga no modelo matemático. Tem-se que todo o volume de carga produzido nos locais de origem devem ser movimentados por algum dos fluxos de transporte rodoviário disponíveis – portos, terminais de transbordo de carga existentes, terminais de transbordo de carga projetados ou mercado interno.

$$\sum_k Y_{i k} + \sum_j X_{i j} + \sum_q T_{i q} = A_i \quad \forall (i) \quad (11)$$

Em (12) tem-se como restrição incorporada ao modelo a demanda por carga no mercado interno brasileiro. Toda a demanda de carga das indústrias moageiras q deve ser atendida por fluxos rodoviários provenientes dos locais de origem i .

$$\sum_i T_{i q} = MI_q \quad \forall (q) \quad (12)$$

A mesma lógica é tida para com a demanda existente no mercado internacional m . Nesses fluxos de exportação, toda a demanda de carga deve ser atendida por fluxos de transporte de carga originados em um dos terminais portuários k . Essa restrição é apresentada pela expressão matemática (13).

$$\sum_k U_{k m} = E_m \quad \forall (m) \quad (13)$$

A expressão matemática (14) estabelece um limite de capacidade nas movimentações portuárias. A partir dela, tem-se que todo o volume de carga oriundo de i e j , somados, não devem ser maiores do que a capacidade operacional de movimentação estabelecida para cada porto (C_k).

$$\sum_i Y_{i k} + \sum_j W_{j k} \leq C_k, \quad \forall (k) \quad (14)$$

Em (15) é estabelecido um limite operacional para as movimentações de grãos dos terminais intermodais atualmente existentes j .

$$\sum_i X_{i j} \leq B_j \quad \forall (j) \quad (15)$$

Ainda relacionada aos terminais de transbordo existentes, a equação (16) estabelece o balanceamento de carga no modelo matemático. A partir dessa expressão, fica definido que toda a quantidade de carga que adentrar no terminal de transbordo j (independente do ponto de origem i) deve seguir para algum destino k (terminal portuário).

$$\sum_i X_{i j} - \sum_k W_{j k} = 0 \quad \forall (j) \quad (16)$$

A mesma ideia é sintetizada pela expressão (17), porém relacionada aos terminais portuários k .

$$\sum_i Y_{i k} + \sum_j W_{j k} - \sum_m U_{k m} = 0 \quad \forall (k) \quad (17)$$

Foi inserido no modelo ainda uma restrição (18) relacionada às movimentações de carga que adentram no porto de Vitória, no Espírito Santo ($k = Vitória (ES)$). Com essa expressão fica

condicionado de que toda carga que for exportada por Vitória deve chegar a esse terminal portuário com a utilização do modal ferroviário. Tal informação foi obtida junto ao ESALQ-LOG (2019), indicando que tal porto não recebe soja pelo modal rodoviário.

$$\sum_i Y_{ik} = 0 \quad \text{para } k = \textit{Vitória} \quad (18)$$

A expressão (19) tem o objetivo de apresentar o custo de transporte da soja brasileira por tonelada movimentada (*RMED*). O valor de *RMED* é obtido a partir da divisão do custo total em reais pela soma das quantidades produzidas pelos locais de origem.

$$RMED = \frac{R}{A_i}, \quad \forall(i) \quad (19)$$

A estrutura de modelagem matemática foi abastecida com dados de diversas fontes, tendo 2017 como o ano de referência. Dados da produção de soja brasileira para o ano de 2017 foram obtidos junto à base de dados do IBGE (2017). Os dados do PAM - Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2017) mostram que nesse ano 2.274 municípios brasileiros produziram um total de 114,6 milhões de toneladas de soja. Tais municípios são considerados os locais de origem de carga no modelo proposto.

Como portos exportadores de soja no Brasil, durante o ano de 2017, dados da SECEX (2019) indicam que houve um total de 14 pontos de saída. De forma conjunta, estes portos exportaram um total de 68,15 milhões de toneladas dessa oleaginosa. O Porto de Santos (SP) se consolidou com o maior volume embarcado (16,64 milhões de toneladas de soja, aproximadamente 24% do total), seguido pelo Porto de Rio Grande (12,59 milhões de toneladas), e os terminais portuários de Paranaguá e São Luís aparecem com aproximadamente 17% e 9% do volume total embarcado nos portos brasileiros.

As informações sobre localização e processamento de soja nas indústrias moageiras do mercado tiveram como base informações da ABIOVE (2019). A localização, os destinos e os volumes movimentados de soja em cada terminal de transbordo (ferroviário e hidroviário) foram obtidos via consulta às estatísticas da ANTT (2019) e ANTAQ (2019). Em 2017 foram movimentadas 24,31 milhões de toneladas dessa oleaginosa pelo modal ferroviário e 8,72 milhões de toneladas pelo modal hidroviário – portanto, o volume total movimentado por fluxos de transporte multimodais é igual a aproximadamente 33 milhões de toneladas de soja.

As informações sobre o destino internacional da soja brasileira exportada foram obtidas junto à base de dados da SECEX (2019), as quais evidenciam que aproximadamente 91,19% das exportações da oleaginosa tiveram o continente asiático como destino, o que representa mais de 60 milhões de toneladas. Na sequência, o continente europeu aparece como o segundo maior consumidor da soja brasileira, com 8,18% de todo o volume exportado pelo Brasil. Para cada continente de destino foi definido um país representativo, o qual será tratado como local de entrada da soja brasileira no mercado internacional. A premissa para a definição do centroide foi a de escolher o país com maior volume importado dentre os países importadores de cada continente.

Dessa forma, as movimentações logísticas internacionais tiveram como destinos em potencial cinco locais: Egito (representando as movimentações para África), México (América do Norte, Central e Caribe), Colômbia (América do Sul), China (Ásia) e Espanha (Europa).

Os valores de frete foram obtidos a partir da base de dados do Sistema de Informações de Frete desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG). Os dados (total 4.650 informações) fazem referência aos valores médios de frete de soja praticados no mercado brasileiro no ano de 2017. Baseado nesse conjunto de informações, foram

estruturados modelos de regressão (total de dez modelos, a depender da característica das rotas/fluxo de transporte) para os cálculos dos valores dos fretes. O mesmo se aplica para a obtenção das estimativas dos valores de frete ferroviário e hidroviário. No tocante aos fretes marítimos para o transporte de soja entre os portos brasileiros e os destinos do mercado internacional, utilizou-se estimativas a base de dados do ESALQ-LOG (2019).

4. RESULTADOS

Adentrando na discussão dos resultados do trabalho, o modelo matemático de minimização dos custos de transporte de soja no Brasil mostra que o custo médio total de transporte de soja no Brasil é de R\$ 155,80 por tonelada do grão. Esse custo engloba todas as operações de transporte em território brasileiro e marítimo. Ao desconsiderar os custos atrelados ao transporte em águas internacionais, tem-se que o custo médio é de R\$ 98,38 por tonelada de soja.

Aripuanã (MT), Nova Ubiratã (MT) e Feliz Natal (MT) são os municípios com maior custo de transporte do Brasil, ambos localizados na região centro-norte do Estado do Mato Grosso. O custo ponderado de transporte para cada uma das localidades produtoras é ilustrado na Figura 1, sendo os pontos coloridos em tons avermelhados aqueles com maiores custos de transporte. Tal ilustração agrega os valores atrelados à variável $CUSTO_i$.

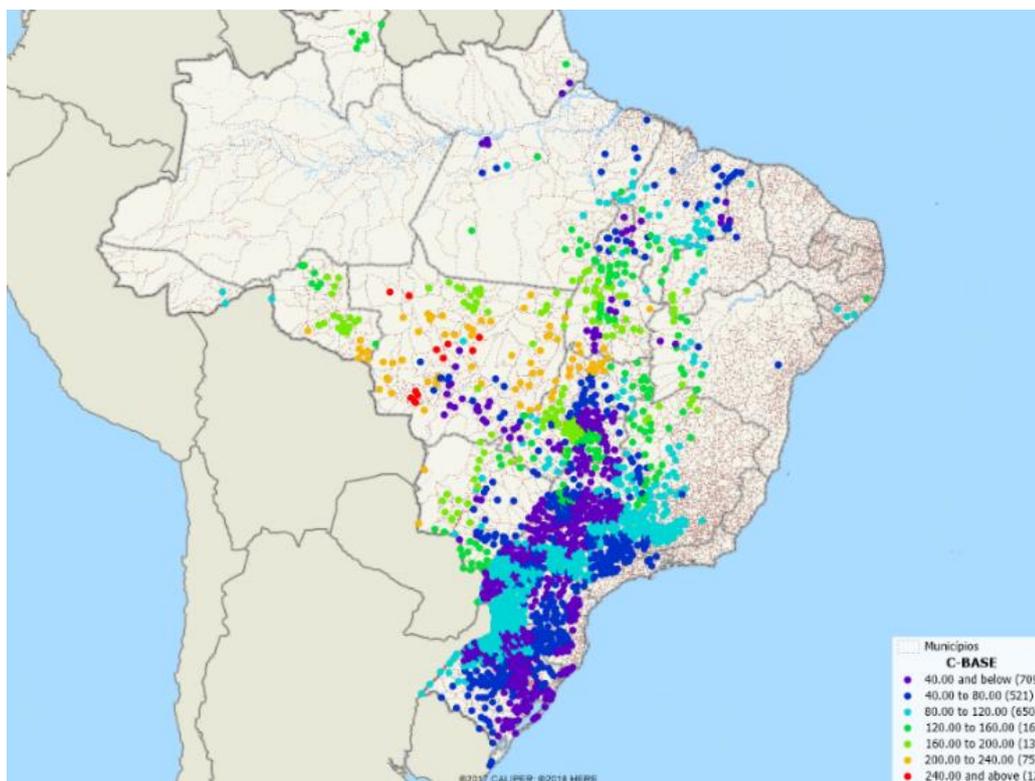


Figura 1. Custo ponderado do transporte de soja por município (variável $CUSTO_i$).

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em resultados da pesquisa.

A configuração ótima dos fluxos mostra que a matriz de transporte de soja no Brasil tem o modal rodoviário como responsável por 80,72% das movimentações totais do produto no país, cabendo o restante ao transporte multimodal de carga. A modalidade de transporte ferroviária foi responsável por 14,87% das movimentações e a hidroviária 4,41%. Os terminais de transbordo considerados na análise movimentaram, de forma conjunta, 26,73 milhões de toneladas de grãos. Rondonópolis (MT), Araguari (MG), Itaituba (PA), Maringá (PR) e Porto Velho (RO) foram os terminais que mais movimentaram carga, de acordo com a configuração ótima de fluxos – 5,34, 3,68, 3,13, 2,52 e 2,09 milhões de toneladas de soja, respectivamente.

Na Tabela 1 são sintetizadas as estatísticas descritivas da variável $CUSTO_i$ bem como das outras variáveis utilizadas no modelo econométrico.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das variáveis.

Variável	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Observações
$lnIDHM_i$	- 0,36	0,08	- 0,19	- 0,72	2.272
$CUSTO_i$	78,09	54,73	257,07	5,35	2.272
$PIBAGROPEC_i$	90.193,43	121.232,91	1.402.282,11	1.359,17	2.272
$GINI_i$	0,49	0,07	0,79	0,31	2.272
POP_i	28.268,75	97.915,95	2.974.703,00	956,00	2.272
$PIBPERCAPTA_i$	29.390,45	21.440,62	305.524,66	5.133,23	2.272
$CENTROOESTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272
SUL_i	-	-	1,00	0,00	2.272
$SUDESTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272
$NORTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em resultados da pesquisa.

No tocante a análise da influência dos custos municipais do transporte de soja no Índice de Desenvolvimento Humano das localidades produtoras, os resultados do modelo de regressão estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado do modelo de regressão (variável dependente: $lnIDHM$).

Variável	Coefficiente	Erro Padrão de White-Huber	Estatística t
$CUSTO_i$	-0,0001283*	0,0000257	-4,99
$PIBAGROPEC_i$	3,19E-08*	1,01E-08	3,16
$PIBPERCAPTA_i$	5,64E-07*	1,03E-07	5,46
POP_i	1,70E-07*	5,30E-08	3,21
$GINI_i$	-0,1369102*	0,0243216	-5,63
$CENTROOESTE_i$	0,1502847*	0,0084173	17,85
SUL_i	0,1696501*	0,0081333	20,86
$SUDESTE_i$	0,1901036*	0,0084935	22,38
$NORTE_i$	0,0772463*	0,0095707	8,07
Constante	-0,4652085*	0,0151561	-30,69
R ² Ajustado		0,5171	
F (9, 2262)		209,93*	
Número de Observações		2272	

* Denota significância estatística a 1%

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em resultados da pesquisa.

Dentre importantes validações que possibilitam a análise confiável dos resultados, verificou-se por meio do teste de VIF a ausência de multicolinearidade entre as variáveis (< 10). Além disso, por meio do teste de Breush-Pagan (estatística qui-quadrado = 33,26), identificou-se a heterocedasticidade da variância dos resíduos. Dados os problemas de confiabilidade decorrentes disso, o modelo foi estimado com erros padrão robustos a esse problema. Além desses, pode-se por meio da estatística F validar a que pelos menos um dos parâmetros é diferente de zero. Os

resultados do teste de Shapiro-Wilk não permitem assumir a normalidade dos resíduos (estatística $W = 0,98$). Entretanto, conforme aponta Judge et. al (1988), a grande amostra ($n = 2.272$) possibilita que confiemos a proximidade a normalidade.

O resultado do modelo econométrico mostra que a variável $CUSTO_i$ é significativa ao nível de 1%. O coeficiente negativo evidencia que custos médios de transporte de soja maiores estão associados a menores valores para o Índice de Desenvolvimento Humano nos municípios brasileiros produtores dessa oleaginosa. Existe, portanto, uma relação inversa entre o custo de transporte e o nível de desenvolvimento socioeconômico das localidades produtoras de soja.

A partir do resultado do modelo, uma redução de R\$ 1,00 por tonelada no custo médio de transporte de soja do município acarreta um aumento de 0,01283% no Índice de Desenvolvimento Humano dessa localidade. Para fins de exemplificação, se para determinada localidade a redução estimada no custo médio de transporte a partir da instalação de uma nova infraestrutura é de R\$ 50,00 por tonelada, 0,6415% é o impacto estimado no IDHM desse mesmo local.

Em relação às variáveis de controle empregadas no modelo econométrico:

- $PIBAGROPEC_i$: a um nível de significância de 1%, o resultado do modelo de regressão mostra que o aumento do Produto Interno Bruto relacionado ao setor da agropecuária tem impacto positivo na IDHM. Um aumento de R\$ 1.000.000,00 no PIB agropecuário de determinado município acarreta um aumento da ordem de 0,00319% no índice de desenvolvimento.
- $PIBPERCAPTA_i$: a um nível de significância de 1%, o resultado do modelo econométrico mostra que um aumento de R\$ 1.000,00 no PIB per capita dos municípios está relacionado a um aumento da ordem de 0,0564% no IDHM. Tal relação positiva entre essas variáveis corrobora com a expectativa inicial do modelo aqui analisado.
- POP_i : para essa variável, os resultados mostram que populações maiores estão associadas a maiores níveis de IDHM nos municípios produtores de soja do Brasil. Com nível de significância de 1%, um aumento populacional de 1.000 habitantes gera um aumento de 0,017% no IDHM dessas localidades.
- $GINI_i$: também em linha com a expectativa inicial, níveis menores do Índice de Gini estão associadas a locais com maior desenvolvimento humano (sinal negativo do coeficiente obtido). Nesse índice (que apresenta valores entre 0 e 1), uma redução de 0,1 está relacionada a um aumento de 1,3691% no IDH municipal (nível de significância de 1%).

Para as variáveis de localização do município:

- $CENTROOESTE_i$: o resultado mostra que os municípios localizados na região Centro-Oeste brasileira apresentam, em média, IDHM 16,2165% superior aos municípios localizados na região Nordeste (nível de significância de 1%).
- SUL_i : com interpretação similar à variável anterior, os municípios localizados na região Sul apresentam IDHM 18,48902% superior aos localizados na região Nordeste (nível de significância de 1%).
- $SUDESTE_i$: os municípios produtores de soja localizados na região Sudeste apresentam, em termos médios, IDHM 20,93749% superior às localidades da região Nordeste (nível de significância de 1%).
- $NORTE_i$: a um nível de significância de 1%, os municípios produtores de soja da região Norte do Brasil apresentam níveis de IDHM 8,030812% superiores aos municípios produtores localizados na região Nordeste.

Pelo conjunto de resultados do modelo econométrico, é corroborada a hipótese $H1$ testada por esse trabalho. Os resultados mostram que as localidades brasileiras produtoras de soja caracterizadas por custos de transporte mais elevados estão associadas a menores níveis de desenvolvimento socioeconômico. Dessa forma, a efetivação de políticas públicas para o investimento e

infraestrutura de transporte que visem a redução dos custos de transporte deve se visualizada como instrumento para a promoção do desenvolvimento social e econômico dos municípios brasileiros.

6. CONCLUSÃO

Conforme apontado pelos resultados do modelo de minimização dos custos, há para o transporte de soja, uma preponderância nas movimentações por meio do modal rodoviário, frente aos custos/benefícios dada a proximidade dos polos produtores e flexibilidade que a modalidade possui. No entanto, essa situação aparenta não favorecer melhoria nas condições de vida das regiões, algo que pode ser atingido por uma ampliação nos investimentos.

A existência de planos de investimentos governamentais, ou realizados em conjunto com a iniciativa privada são importantes para o atingimento de maiores níveis de desenvolvimento econômico e social tanto pela elevação na renda das localidades, um dos critérios para o cálculo do IDHM. Mais que isso, obras de infraestrutura podem ser determinantes causando positivos impactos locais de longo prazo, a atração de investimentos em outros setores, aumento dos postos de trabalho, crescimento populacional, elevação da arrecadação local e potencial melhorias em serviços, e conseqüentemente, em indicadores de educação e saúde e criação de fluxos migratórios pela atração de novos moradores, mudando estruturalmente a vivência dos municípios.

A ampliação dos investimentos, possibilitando outros canais de escoamento da produção possui potencial de alteração da matriz de transporte no escoamento, e uma conseqüente diminuição de custo, o que apontado pelo modelo econométrico se reflete diretamente nos indicadores de desenvolvimento.

Dentre os principais potenciais de melhorias em trabalhos futuros está a possibilidade de avaliar o comportamento dessa situação com a atualização das variáveis socioeconômicas. O indicador de desenvolvimento humano utilizado data de 2010, e com uma divulgação apenas decenal, assim, sendo impossibilitado uma análise de toda a dinâmica entre os períodos. Em relação ao modelo, sugerem-se novas aplicações e análises utilizando modelos de regressão espaciais, com o objetivo de identificar eventuais efeitos de transbordamento dos custos de transporte sobre o desenvolvimento dos municípios próximos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas. Disponível em < <https://abiove.org.br/estatisticas/> > Acesso em: 25. Out. 2019.
- ANTT – Agência Nacional dos Transportes Terrestres. Anuário do Transporte Ferroviário. Disponível em < <https://www.antt.gov.br/anuario-do-setor-ferroviario> > Acesso em: 22. Out. 2019.
- ANTT – Agência Nacional dos Transportes Terrestres. Dados Abertos. Disponível em < <https://dados.antt.gov.br/> > Acesso em: 22. Out. 2019.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Anuários Estatístico. Disponível em < <http://web.antaq.gov.br/Anuario/> > Acesso em; 20. Out. 2019.
- ATLAS BRASIL. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 – IDHM 2010. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br>>. Acesso em: 22. Out. 2019.
- ATLAS BRASIL. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 – Metodologia. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br>>. Acesso em: 12. Dez. 2019.
- ESALQ-LOG – Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial. Sistema de Informações de Fretes (Sifreca). Disponível em < <https://sifreca.esalq.usp.br/> > Acesso em: 20. Out. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas de População. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html> > Acesso em: 28. Out. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal. Disponível em < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> > Acesso em: 28. Out. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de Contas Nacionais. Disponível em < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas> > Acesso em: 28. Out. 2019.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Indicadores Sociais – Índice de Gini. Disponível em < ipeadata.gov.br > Acesso em: 22. Out. 2019.

JUDGE, George G. et al. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. J. Wiley, 1988.

OLSSON, Jerry. Improved road accessibility and indirect development effects: evidence from rural Philippines. *Journal of Transport Geography*, v. 17, n. 6, p. 476-483, 2009.

ROVOLIS, Antonis; SPENCE, Nigel. Duality theory and cost function analysis in a regional context: the impact of public infrastructure capital in the Greek regions. *The Annals of Regional Science*, v. 36, n. 1, p. 55-78, 2002.

SAKIB, Nazmus et al. Addressing the Passenger Transport and Accessibility Enablers for Sustainable Development. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 903, 2018.

SÁNCHEZ-OLLERO, José Luis et al. The impact of the high speed train in the development of Andalusia: an approach. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2014.

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. Exportações. Disponível em < <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home> > Acesso em : 28. Mar. 2020.

SNIESKA, Vytautas; SIMKUNAITE, Ineta. Socio-economic impact of infrastructure investments. *Engineering economics*, v. 63, n. 4, 2009.

SUN, Yu; CUI, Yin. Evaluating the coordinated development of economic, social and environmental benefits of urban public transportation infrastructure: Case study of four Chinese autonomous municipalities. *Transport Policy*, v. 66, p. 116-126, 2018.

TAYLOR, Michael AP. Critical transport infrastructure in Urban areas: impacts of traffic incidents assessed using accessibility-based network vulnerability analysis. *Growth and Change*, v. 39, n. 4, p. 593-616, 2008.

UNDP- United Nations Development Programme. *Human Development Report 1990: Concept and Measurement of Human Development*. Disponível em: < <http://www.hdr.undp.org/en/reports/global/hdr1990> >. New York: 1990

UNDP - United Nations Development Programme.. *Human Development Report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century*. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2019>>. New York: 2019.

VERMEIREN, Karolien et al. Who could benefit from a bus rapid transit system in cities from developing countries? A case study from Kampala, Uganda. *Journal of Transport Geography*, v. 47, p. 13-22, 2015.

VUČKOVIĆ, Smiljana Dukićin et al. The development of transport infrastructure and attitudes of the local population: a case study from the Republic of Serbia. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, v. 118, n. 1, p. 101-113, 2018.

WANG, Luqi et al. The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: emerging trends and challenges. *International journal of environmental research and public health*, v. 15, n. 6, p. 1172, 2018.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press, 2010.

XIA, Jianhong Cecilia et al. A multi-dimensional view of transport-related social exclusion: A comparative study of Greater Perth and Sydney. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 94, p. 205-221, 2016.

