



QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA INDUZIDA NA INCORPORAÇÃO DE NOVOS MODOS DE TRANSPORTES ATRAVÉS DE PESQUISAS DE PREFERÊNCIA DECLARADA - O CASO HYPERLOOP

Ana Margarita Larrañaga Uriarte

Shanna Trichês Lucchesi

Rodrigo Javier Tapia

Douglas Zechin

Andrey Bonatto

Cesar Andriola

Helena Beatriz Bettella Cybis

Christine Tessele Nodari

Luiz Afonso dos Santos Sena

Daniel Garcia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

RESUMO

A previsão de demanda futura é um componente fundamental dos estudos de viabilidade e parte dessa demanda é induzida pelas melhorias operacionais que o projeto pode trazer. Este estudo estima a demanda induzida para um trem de alta velocidade tipo Hyperloop no sul do Brasil utilizando duas abordagens: abordagem baseada em técnicas de preferência declarada e abordagem logsum. Os resultados dos modelos demonstraram que a demanda induzida pode variar de 11% a 66% dependendo da abordagem utilizada e da rota estudada. A principal rota de lazer foi a que apresentou o maior potencial de geração de demanda induzida na abordagem de preferência declarada. Quanto as abordagens adotadas, a abordagem por preferência declarada apresentou os resultados condizente com o esperado para a região, além de apresentar um processo mais simples de estimação baseada em informações de todos os respondentes.

ABSTRACT

Forecasting future demand is a key component of feasibility studies and part of this demand is induced by the operational improvements that the project can bring. This study estimates the induced demand for a high-speed rail (Hyperloop) in southern Brazil using two approaches: an approach based on stated preference techniques and a logsum approach. The model results showed that the induced demand can vary from 11% to 66% depending on the approach used and the route studied. The main leisure route presented the greatest potential for generating induced demand in the declared preference approach. Regarding the approaches adopted, the declared preference approach presented results in line with what was expected for the region, in addition to presenting a simpler estimation process based on information from all respondents.

1. INTRODUÇÃO

A previsão de demanda futura é um componente fundamental dos estudos de viabilidade em projetos de transporte. No caso de novos sistemas de transporte público, e ela que vai determinar parâmetros importantes de operação e apontar os níveis de lucratividade e sustentabilidade financeira do projeto (Tsekeris e Tsekeris, 2011). Usualmente, a previsão de demanda futura total é a soma de três diferentes tipos de demandas estimadas: (i) a demanda derivada, que estima as viagens que migram de outros modos para o novo sistema; (ii) a demanda acrescida, estimada com base na expectativa de crescimento no número de viagens devido ao crescimento econômico; e, por fim, (iii) a demanda induzida, viagens inexistentes na situação presente, mas que são induzidas a ocorre pelo novo sistema (Cascetta e Coppola, 2014). Este artigo foca suas análises no terceiro grupo.



A demanda induzida por viagens é um fenômeno natural que ocorre à medida que as pessoas respondem às mudanças causadas nas ofertas de transportes pelo desenvolvimento dos novos sistemas, ou seja, é o aumento na viagem resultante de melhores condições de viagem (GTZ, 2009). Aqui, mais uma vez, é possível dividir a demanda induzida em dois contribuintes. O primeiro deles é a contribuição indireta. Neste caso, novos sistemas podem provocar mudanças no estilo de vida ou na ocupação do uso do solo que pode aumentar o número de viagens. Já na contribuição direta, o aumento no número de viagens se dá a devido a melhorias na operação que levam a realização de novas viagens (Cascetta e Coppola, 2014). Na grande maioria dos casos as melhorias referem-se à redução no tempo de viagem, uma melhoria na confiabilidade do tempo de viagem ou ambos. Portanto, para simplificar a exposição que se segue, este artigo técnico foca nas viagens induzidas por contribuição direta e usará o termo “demanda de viagem induzida” para indicar qualquer aumento na viagem resultante de uma redução no tempo de viagem ou da variabilidade do tempo de viagem.

Sendo assim, qualquer novo projeto de transporte que provoque alterações no tempo de viagem apresenta potencial de induzir viagens. em especial, quando se trata da introdução de modos de transporte cuja redução tempo de viagem é um dos seus benefícios latentes. Esse é o caso dos trens de alta velocidade. Já instalados em diversos países como China, Espanha, França, Alemanha e Coreia do Sul, a modalidade é conhecida pela competição com modos aéreos, a economia no tempo de viagem, pela melhoria na eficiência da rede de transporte regional e na acessibilidade (Chen, 2022; Dobruszkes et al., 2014). Uma revisão bibliográfica sobre evidências de demanda induzida após a introdução de trens de alta velocidade realizada mostra que a demanda induzida pode variar amplamente, de quase zero a 80% do total de passageiros transportados por trens de alta velocidade (Givoni e Dobruszkes, 2013). Apesar da grande variabilidade nos resultados, o estudo determinou um valor médio de 20% para os primeiros anos (2 a 4 anos depois da introdução do sistema). No Brasil, o único estudo de conhecimento dos autores refere-se a uma linha de trem rápido ligando as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, cuja demanda induzida calculada variava entre 16% e 17% (TAV Brasil, 2012).

A primeira linha de trem rápido no Brasil usando a tecnologia Hyperloop está em estudo para ser construída na serra gaúcha ligando as cidades de Porto Alegre, Novo Hamburgo, Gramado e Caxias do Sul. A tecnologia busca transportar passageiros em alta velocidade através de um sistema de dutos e cápsulas em um ambiente de quase vácuo. A linha com 135,5 km de extensão, possibilita a realização da viagem entre suas estações mais distantes em 19 minutos e 45 segundos. Devido ao potencial turístico da região em estudo, as viagens de lazer e o potencial de crescimento da demanda turística pela facilidade de acesso são condicionantes fundamentais do estudo. Consequentemente, é necessário realizar a previsão de demanda e a consequente estimativa da demanda induzida para o projeto. A demanda induzida por economia de tempo de viagem corresponde às novas viagens que serão realizadas devido à melhora da mobilidade e do acesso ao destino decorrente da implantação do sistema Hyperloop, com impactos no curto e no longo prazo.

Este artigo, portanto, busca estimar a demanda induzida direta para o estudo de caso mencionado anteriormente comparando diferentes técnicas de estimação. A demanda induzida foi determinada utilizando duas abordagens: (i) abordagem baseada em técnicas de preferência declarada relacionada a número de viagens adicionais que os usuários realizariam e (ii)



abordagem logsum, baseada em preferências declaradas e modelos de divisão modal. Às vantagens na utilização do logsum estão associadas a habilidade de incorporar determinado nível de heterogeneidade nas análises, além de Sendo assim, esse artigo possui quatro contribuições principais para a literatura e a prática. A primeira delas é a discussão sobre a necessidade de estimar demanda induzida em estudos de viabilidade de projetos de transportes e a estimação destes valores, o novo modo de transporte para viagens interurbanas. Em segunda lugar é a apresentação de novas técnicas de estimação de demanda induzida por instrumentos já utilizados nos estudos de viabilidade, como as pesquisas de preferência declaradas. Entretanto, realizando uma pesquisa mais simples e estimando modelos lineares generalizados, disponíveis na maioria dos softwares estatísticos. A terceira trata da comparação entre as abordagens utilizadas e as diferenças dos resultados obtidos. Por fim, o estudo de caso, visto que, até onde os autores identificam, é um dos primeiros estudos de trens rápidos no Brasil cujo faz necessário a consideração de viagens a lazer.

2. DADOS E PROJETO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

2.1 Projeto Experimental

Seis projetos experimentais foram elaborados, de forma de representar adequadamente as particularidades de cada rota analisada. Elas são: (i) Porto Alegre-Gramado, (ii) Porto Alegre-Caxias, (iii) Novo Hamburgo-Caxias, (iv) Gramado- Caxias, (v) Novo Hamburgo – Gramado e (vi) Porto Alegre Novo Hamburgo. Os primeiros cinco trechos compreendem as viagens realizadas com destino na Serra Gaúcha, as quais apresentam semelhanças nas alternativas de transporte disponíveis (Ônibus, Automóvel e Hyperloop), O trecho Porto Alegre-Novo Hamburgo dispõe ainda trem metropolitano como opção de transporte adicional para escolha.

A seleção dos atributos que influenciam na decisão de escolha foi baseada numa revisão bibliográfica de artigos nacionais e internacionais relevantes na área e nos resultados obtidos de pesquisas prévias. Os atributos selecionados para o projeto do experimento, atributos usuais em pesquisas de preferência declarada para escolha modo, foram: custo da viagem, tempo de viagem e Headway (intervalo de tempo entre veículos). Para cada categoria foi elaborado um projeto experimental diferente. Cada atributo possuía três níveis de escolha, mas os valores variavam por trecho, visto que o tempo e o custo podem ser bastante distintos na situação atual para os trechos sob análise.

Os projetos experimentais foram elaborados utilizando desenhos eficientes (Rose e Bliemer, 2008) no software N-gene (Choice Metrics, 2014) Projetos eficientes foram escolhidos por gerarem estimativas dos parâmetros mais precisas em relação aos projetos ortogonais. Buscando considerar a incerteza em relação aos parâmetros iniciais, foi elaborado um desenho eficiente bayesiano para situações em que a ortogonalidade dos fatores pode ser dispensada. Entretanto, esses projetos requerem valores iniciais para os parâmetros da função utilidade. Como não havia informação prévia disponível, a elaboração do projeto foi realizado de acordo as seguintes etapas (Larranaga *et al.*, 2018; Schultz *et al.*, 2021): (i) projeto inicial eficiente–utilizando valores para os parâmetros iniciais reportadas em estudo de trem rápido entre São Paulo e Rio de Janeiro (TAV Brasil, 2012) foi gerado o projeto D-eficiente inicial; (ii) pesquisa piloto – pesquisa com 158 indivíduos aplicando o projeto inicial; (iii) calibração de modelos logit multinomial, de forma de atualizar os valores dos parâmetros iniciais adotados e (iii) projeto final- utilizando os valores resultantes do modelo estimado com a amostra piloto foi



gerado um projeto eficiente bayesiano. A aproximação Bayesiana considera uma distribuição para os valores de cada parâmetro, gerando a través de números quase aleatórios (foi utilizada a sequência Halton) diferentes desenhos e calculando o valor médio da eficiência de todos os desenhos. Foram utilizadas 500 extrações de cada parâmetro e avaliada a eficiência de cada desenho. Os valores de eficiência obtidos foram de 0.0119 para Porto Alegre-Gramado, 0.0517 para Porto Alegre-Caxias, 0.01586 para Porto Alegre Novo Hamburgo, 0.0969 para Gramado-Caxias, 0.0059 para Novo Hamburgo – Gramado e 0.0517 para Novo Hamburgo-Caxias. Por fim, 9 situações de escolha foram geradas para elaboração dos cartões a serem apresentados aos respondentes

2.2 Desenho do questionário

A partir do projeto experimental foi construído o questionário da pesquisa PD para cada rota. O questionário foi estruturado em cinco seções. A seção 1 tratou a caracterização dos usuários, abordando questões relativas às características socioeconômicas e demográficas dos indivíduos. Na seção 2 buscou-se identificar os padrões dos deslocamentos existentes entre as cidades de origem e destino de interesse da pesquisa. Desta maneira, os respondentes deveriam informar sua frequência de viagens, modos usuais de transportes e custos e tempos estimados de viagens.

As seções 3, 4 e 5 são as seções importantes para determinação da demanda induzida. Na seção 3 os respondentes deveriam imaginar como seria o seu acesso ao futuro local da estação do Hyperloop. Respondentes deviam informar o modo de transporte que utilizariam para posterior estimativa dos custos e tempos de acesso percebidos da residência dos indivíduos até a estação. Já na seção 4 foi apresentada a pesquisa PD. Com 9 situações de escolha, a pesquisa PD é essencial para estimar a divisão modal com a incorporação do Hyperloop e para determinar a medida *logsum*, a partir das utilidades estimadas para cada alternativa modal. A figura 1a apresenta um exemplo dos cartões confeccionados (situação de escolha) e apresentados na viagem que realizava com mais frequência. O tempo de acesso e egresso não foi apresentado de forma explícita no cartão de forma que cada respondente considere o tempo e custo adicional para estes deslocamentos.

Cenário 1					Cenário 3	
	A	B	C	D	Hyperloop	
Tempo	1 h + tempo até Rodoviária NH/SL + tempo Rodoviária POA até destino	45 min + tempo até o centro de NH/SL + tempo do Aeroporto até destino	43 min + tempo até a estação NH/SL + tempo da estação Aeroporto até o destino	20 min + tempo até a estação de NH/SL + tempo da estação de POA até o destino	40 min + tempo até a estação de GRA + tempo da estação de POA até destino	
Intervalo (tempo entre veículos)	60 min		15 min	15 min	15 min	
Custo por pessoa	R\$ 20,00/pessoa + custo até Rodoviária NH/SL + custo Rodoviária POA até destino	R\$ 28,00/veículo + custo até o centro de NH/SL + custo do Aeroporto até destino	R\$ 4,20/pessoa + custo até a estação NH/SL + custo da estação Aeroporto até o destino	R\$ 70,00/pessoa ou 56,00*/pessoa *(grupo de 3 ou + passageiros) + custo até a estação de NH/SL + custo da estação de POA até o destino	R\$ 120,00/pessoa ou 96,00*/pessoa *(grupo de 3 ou + passageiros) + custo até a estação de GRA + custo da estação de POA até destino	

a)

b)

Figura 1: Exemplo de cartão apresentado nas pesquisas de preferência declarada

Finalmente, a seção 5 da pesquisa apresentou uma pesquisa de preferência declarada similar, mas visando modelar econometricamente a demanda induzida de forma direta. Diferentes situações de escolha, com variação dos parâmetros do sistema, foram apresentadas para cada rota (destino). Os respondentes deveriam identificar os motivos que os levariam a realizar mais viagens (Trabalho; Escolas/Educação; Compras/Lazer/Turismo; Médico/Dentista/Saúde) e



quantas viagens a mais seriam realizadas por cada motivo no período de um ano. A figura 1b apresenta um exemplo das situações de escolha apresentadas aos respondentes.

2.3 A coleta de dados

A coleta de dados da pesquisa final foi realizada entre maio e junho de 2021. A pesquisa foi divulgada de forma on-line, obtendo uma amostra total de 842 respondentes. Os respondentes possuíam residência em 25 cidades distribuídas no entorno das 4 estações previstas no projeto. O tamanho da amostra foi definido através do cálculo para estimadores de proporção em amostras aleatórias simples, para dois estratos de motivos de viagens: viagens por motivo lazer (turismo, recreação, visita a familiar, compras) e não lazer (outros motivos de viagens não incluídos na categoria anterior, como, por exemplo, trabalho, estudo, saúde, etc.). Esta estratificação foi usada na etapa de modelagem, determinando um mínimo de 384 entrevistados para cada estrato.

3. MÉTODO E ESTRUTURA TEÓRICA

A demanda induzida corresponde às novas viagens que serão realizadas devido à melhora da mobilidade e do acesso ao destino decorrente da implantação do sistema Hyperloop. A demanda induzida foi determinada utilizando duas abordagens. Uma abordagem baseada em técnicas de preferência declarada e estimando modelos lineares generalizados. A segunda, também baseada usando dados de preferência declarada, entretanto uma estrutura do projeto experimental mais complexa e aplicando a abordagem logsum. Destaca-se que a primeira é uma técnica inovadora, baseada na elaboração de uma pesquisa de preferência declarada para determinar o número de viagens adicionais que o respondente realizaria em diferentes cenários hipotéticos apresentados, seguidos da estimação de modelos econométricos para a determinação do número de viagens adicionais no sistema (Zhang et al., 2019). Neste caso, foram estimados modelos Poisson, binomial negativo, inflacionados de zeros com distribuição binomial negativo e Poisson e modelos binomiais negativo com efeitos aleatórios. A segunda abordagem é baseada na estimação da acessibilidade a partir dos modelos de escolha discreta, calculada pelo indicador logsum.

A primeira abordagem utiliza os dados coletados na pesquisa PD apresentados na Figura 1b. Como as respostas do número de viagens são valores de contagens (inteiros não negativos), modelos lineares generalizados para dados de contagem foram utilizados. Diversos modelos foram estimados para cada um dos trechos analisados e estratificados por motivo de viagem, lazer e não lazer. Os modelos estimados foram: Poisson, binomial negativo, inflacionados de zeros com distribuição binomial negativo e Poisson e modelos binomiais negativo com efeitos aleatórios. O pacote computacional R foi utilizado.

Os modelos pressupõem diferente relação entre a média e variância da distribuição. O principal modelo para dados de contagem se baseia na distribuição de Poisson e possui a característica de equidispersão, isto é, considera a média igual à variância. Este modelo foi estimado inicialmente para cada trecho e motivo e realizado o teste de hipótese de superdispersão de Cameron e Trivedi (Cameron e Trivedi, 1990) para testar estatisticamente a existência de superdispersão na distribuição.

Alternativamente, modelos de regressão binomial negativo foram estimados, os quais capturam



o efeito de superdispersão introduzindo um efeito não observado na média da distribuição (Greene, 2003). Para modelar mais adequadamente a frequência de viagens, foram calibrados modelos inflacionados de zero, os quais conseguem lidar com uma alta frequência de contagens 0 nas respostas. Cada entrevistado respondeu às perguntas de demanda induzida repetidas vezes na pesquisa (para cada cenário e para cada trecho), levando a uma estrutura de dados em painel. Técnicas de regressão para dados em painel foram adotadas, para incorporar a correlação entre os mesmos indivíduos considerando um efeito aleatório sobre o parâmetro da dispersão. A comparação entre os modelos estimados foi realizada a partir do ajuste estatístico e hipóteses esperadas sobre o comportamento dos parâmetros, utilizando os critérios de AIC (Akaike Information Criterion) e BIC (Bayes Information Criterion) para a seleção do modelo mais adequado.

A segunda abordagem é baseada na estimação da acessibilidade a partir de modelos de escolha discreta, utilizados tradicionalmente na divisão modal. Assim, baseados no conceito de utilidade, a acessibilidade é calculada pelo indicador *logsum*. *Logsum* é uma medida do excedente do consumidor em um contexto de modelos de escolha (de Jong *et al.*, 2007a). Este indicador mede o aumento da utilidade resultante de mudanças no sistema para estimar a quantidade de nova demanda que resultará da implementação do novo sistema. O modelo funciona simultaneamente com o modelo de divisão modal. Isto é, os modelos de divisão modal estimados para cada par OD foram aplicados nos conjuntos de dados de cada um dos pares OD (aplicados para cada rota) e computadas as utilidades para cada par OD (i,j). Posteriormente, foi estimado um modelo de regressão linear tendo como variável dependente o número de viagens N_{ij} (especificamente o logaritmo natural do número de viagens) e como variáveis independentes a utilidade composta (U_{ij}) e variáveis socioeconômicas das regiões de origem e destino ($SE_{i,j}$) (Equação 1):

$$\log(N_{ij}) = \alpha + \beta_1 * SE_{i,j} + \beta_2 * \logsum(U_{i,j}) \quad (\text{Eq 1})$$

A modelagem das preferências dos indivíduos usando esta abordagem permitiu determinar a acessibilidade desses indivíduos nos diferentes trechos. O indicador de acessibilidade *logsum* é tradicionalmente usado em estudos de viabilidade, e representa a percepção, ou utilidade esperada, agregada dos usuários sobre a rede de transportes (Geurs *et al.*, 2010). O *logsum* se destaca entre as medidas de acessibilidade baseadas na utilidade, pois pode ser interpretado como uma medida do excedente do consumidor ou da variação do bem-estar proporcionado por uma intervenção, ou política pública (de Jong *et al.*, 2007b; Handy e Niemeier, 1997). A contribuição na demanda da nova alternativa modal seguiu a abordagem proposta por Handy e Niemeier (1997), estabelecendo dois cenários: (i) com os modos de transportes existentes e (ii) com os modos existentes mais o Hyperloop; de forma de estimar a contribuição na acessibilidade proporcionada pelo novo modo de transporte.

O modelo de regressão linear estimado na equação 1, foi aplicado em cada trecho, para o incremento na acessibilidade (incremento no *logsum*), e assim, calculado o incremento no número de viagens (N_{ij}) ao incorporar o novo sistema.



4. RESULTADOS

4.1 Perfil socioeconômico dos usuários e padrões de viagens

Antes de iniciar o processo de modelagem, os dados foram analisados para identificar possíveis inconsistências ou problemas nas repostas entregues. A validação das respostas consistiu na comprovação que as escolhas realizadas foram conforme aos supostos do comportamento econômico, o qual implicou na identificação de indivíduos cativos (escolhem sempre a mesma alternativa, tipicamente a que é utilizada habitualmente, não considerando o compromisso definido entre as alternativas) e indivíduos lexicográficos (escolhem sempre a mesma alternativa onde um atributo é melhor, violando o axioma de continuidade) (Foster e Mourato, 2002).

Os indivíduos cativos, nesse caso, são os que escolhem sempre o mesmo modo de transporte. Isto pode ser devido a uma preferência clara por uma alternativa, o qual levaria aos indivíduos selecionar sempre o mesmo modo de transporte, pode acontecer em casos que o indivíduo deseja influir nas decisões políticas que podem ser obtidas como resultado da pesquisa (viés de política), ou em desinteresse na participação (Saelensminde, 2002). Dos 842 respondentes, 8 foram identificados como cativos do modo ônibus, 53 do modo carro e 23 do modo trem, representando aproximadamente 10% da amostra total. O percentual de indivíduos cativos em pesquisas PD de escolha modal está entre 15% e 20% do total de indivíduos entrevistados (Cherchi e Ortúzar, 2008; de Dios Ortuzar e Iacobelli, 1998). O baixo número de usuários cativos pode estar vinculado ao caráter inovativo do sistema Hyperloop, capturando um maior interesse dos usuários em utilizar o sistema.

A Tabela 1 apresenta os dados socioeconômicos gerais dos respondentes que disseram realizar viagens. A maioria dos respondentes é do gênero masculino, entre 24 e 43 anos, com renda média, pós-graduação e empregado do setor público ou privado. Grande parte da amostra possui carteira de habilitação (90%) e 89% dos reportou posse de 1 ou mais automóveis na residência.

A maioria das viagens foi realizada por motivos de lazer na parte da manhã, onde o respondente viajava com uma ou mais pessoas. A maioria dos respondentes utiliza automóvel para o deslocamento (90%). Lembrando que o trem somente está disponível para a rota Porto Alegre – Novo Hamburgo. Demais características como tempo de viagem, custo da viagem e formas de acesso também dependem da rota analisada. Quanto ao modo, há uma predominância pela escolha do carro na maioria das rotas, com exceção da rota Gramado- Novo Hamburgo, onde os nove respondentes da rota informaram utilizar ônibus nos deslocamentos atuais. Avaliando os motivos das viagens para cada rota, é possível identificar que existe uma assimetria entre os pares O-D. Ou seja, as demandas entre cidades não são recíprocas. As viagens a lazer estão concentradas nas rotas que tem como destino nas cidades de Gramado, totalizando mais de 75% das viagens em todos os trechos.

A Tabela 2 apresenta os custos e tempos totais dos acessos calculados por rota e por modo. Os tempos e custos foram calculados com base na distância euclidiana entre as origens e destinos reportados na pesquisa. Para os acessos ao Hyperloop foram calculadas as distâncias das origens e destinos até a estação projetada mais próxima. Já para o ônibus as distâncias foram calculadas para e a partir das estações rodoviárias mais próximas. Por fim, para o trem foi adotado critério semelhante aos anteriores.



Tabela 1: Perfil socioeconômico dos usuários e padrões de viagens

Característica socioeconômica	Amostra
Gênero	38% feminino / 61% masculino / 1% não quiseram responder
Idade	1% até 18 anos / 6% de 18 a 23 anos / 27% de 24 a 33 anos / 25% de 34 a 43 anos / 18% de 44 a 53 anos / 18% de 54 a 63 anos / 6% acima de 64 anos
Renda	19% Renda baixa / 34% Renda média-baixa / 29% Renda média-alta / 19% Renda alta
Escolaridade	4% ensino médio completo ou incompleto / 41% superior completo ou incompleto / 55% pós-graduação completa ou incompleta
Profissão	1% Desempregado / 2% Do lar / 9% Estudante / 16% Autônomo / 18% Proprietário/Sócio empresa / 24% Empregado do setor público / 29% Empregado do setor privado
Possui carteira de habilitação	90% sim / 10% Não
Número de automóveis na residência	11% dos respondentes não possuem automóvel / 45% possuem 1 automóvel / 35% possuem 2 automóveis / 9% possuem 3 automóveis.
Principal motivo da viagem	2% viajam para levar ou buscar outra pessoa / 3% viajam para escola/educação / 4% viajam para buscar atendimento médico / 21% viajam a trabalho / 58% viajaram por motivo de lazer
Modo principal da viagem	90% viajam de carro / 8% viajam de ônibus / 4% viajam de trem.
Turno da viagem	72% Manhã / 21% Trade / 7% noite
Número de viajantes	19% viajam sozinhos / 39% viajam com mais uma pessoa / 22% viajam com mais duas pessoas / 14% viajam com mais três pessoas / 6% viajam com mais quatro pessoas

Tabela 2: Custo e tempo total dos acessos as estações por modo e por rota

Destinos	Carros		Hyperloop		Ônibus		Trem	
	Custo (R\$)	Tempo (min)						
Origem Caxias do Sul								
Gramado	59.75	41.75	20.08	37.32	6.75	4.61	-	-
Novo Hamburgo	78.14	60.14	43.81	75.58	8.24	9.17	-	-
Porto Alegre	114.44	96.44	34.81	52.69	13.16	12.58	-	-
Origem Gramado								
Caxias do Sul	60.65	42.65	26.04	41.23	6.16	5.74	-	-
Novo Hamburgo	66.24	48.24	31.43	35.91	7.36	6.38	-	-
Porto Alegre	98.30	80.30	21.18	24.34	9.81	12.33	-	-
Origem Novo Hamburgo								
Caxias do Sul	77.50	59.50	43.58	57.44	8.48	10.45	-	-
Gramado	62.28	44.28	25.54	40.06	8.60	8.54	-	-
Porto Alegre	56.40	38.40	29.09	42.27	2.99	4.27	12.06	16.83
Origem Porto Alegre								
Caxias do Sul	117.64	99.64	42.40	58.73	13.93	16.11	-	-
Gramado	98.94	80.94	20.18	23.82	14.05	16.75	-	-
Novo Hamburgo	55.80	37.80	32.50	47.18	13.54	20.50	10.76	16.91

4.2 Resultados dos modelos de demanda induzida

4.2.1 Abordagem derivada da pesquisa de preferência declarada relativa a viagens adicionais

O resultado do teste em todos os modelos estimados (trecho e motivo) evidenciou a existência de superdispersão (variância maior do que a média) na amostra coletada, resultado usualmente encontrado para modelagem de frequência de viagens (Cao *et al.*, 2006).

Em todos os trechos e motivos de viagem analisados, os modelos binômias negativos com efeitos aleatórios foram os que apresentaram melhor ajuste. Estes modelos incorporam a



superdispersão dos dados conjuntamente com o efeito painel. Os resultados dos modelos estimados são apresentados na tabela 3 para cada rota em análise.

Assumindo que a amostra é representativa da população da área de estudo, os parâmetros estimados podem ser aplicados para toda população, obtendo o valor do número de viagens a mais por pessoa. O número de viagens adicionais estimados para toda a população representam a demanda induzida, que pode ser quantificada (% de demanda induzida), como a relação entre o número de viagens induzidos (D. induzida) e o tamanho do mercado no cenário base para o Hyperloop (D. hyperloop) (Zhang *et al.*, 2019) (Tabela 4).

Tabela 3: Resultados dos modelos de demanda induzida

Rota	Lazer			Não lazer		
	Intercepto (Valor p)	Coefficiente (Valor p)	AIC e BIC	Intercepto (Valor p)	Coefficiente (Valor p)	AIC e BIC
Porto Alegre/Novo Hamburgo – Caxias do Sul	0.651 (0.000)	-0.004 (0.000)	15442.0 15468.3	0.932 (0.000)	-0.005 (0.000)	15127.7 15154.0
Porto Alegre/Novo Hamburgo – Gramado	1.158 (0.000)	-0.004 (0.000)	13348.3 13373.3	1.034 (0.000)	-0.008 (0.000)	8901.8 8926.8
Caxias do Sul - Gramado	0.940 (0.000)	-0.004 (0.000)	28876.4 28904.9	1.071 (0.000)	-0.006 (0.000)	24231.4 24259.8
Porto Alegre – Novo Hamburgo	0.947 (0.000)	-0.006 (0.000)	11368.6 11393.0	1.190 (0.000)	-0.008 (0.000)	10808.0 10832.4

Tabela 4: Distribuição da demanda induzida por motivo de viagem

Rota	Lazer		Não lazer		% demanda Induzida/demanda Hyperloop
	% demanda Induzida/demanda Hyperloop	Distribuição de viagens de pesquisa (%)	% demanda Induzida/demanda Hyperloop	Distribuição de viagens de pesquisa (%)	
Porto Alegre/Novo Hamburgo – Caxias do Sul	10.1	23	11.7	77	11.3
Porto Alegre/Novo Hamburgo – Gramado	36.8	58	10.1	42	25.6
Caxias do Sul - Gramado	27	48	10.4	52	18.4
Porto Alegre – Novo Hamburgo	31.4	14	21.8	86	23.2

Os resultados mostram que a demanda induzida para os trechos analisados no cenário de tarifa ótima varia entre 11% e 26% da demanda do Hyperloop, com uma maior contribuição às viagens de lazer. Estes resultados estão em linha com os obtidos em outros estudos para o mesmo sistema como o de Pré-viabilidade realizado nos Grandes Lagos (TEMS, 2020) cujo foi identificada uma variação de 30% em relação à demanda do Hyperloop; e o Estudo de Viabilidade do trem rápido entre São Paulo e Rio de Janeiro (TAV Brasil, 2012), cuja demanda induzida calculada variava entre 16% e 17%. Esses estudos foram utilizados como base de comparação por serem as poucas evidências existentes para essa nova tecnologia de transporte.

4.2.1 Abordagem logsum

Para determinar a mudança no número de viagens com a introdução do sistema Hyperloop pela abordagem *logsum*, um modelo de demanda direta (geração e distribuição de viagens) usando técnicas de regressão, foi estimado a partir da demanda existente nos trechos analisados,



características socioeconômicas na origem e no destino, e da acessibilidade (*logsum*) antes e depois da introdução do Hyperloop. As utilidades estimadas no modelo de divisão modal foram utilizadas para estimativa do logsum (de Jong *et al.*, 2007b) para cada trecho (par OD) em cada um dos cenários (com e sem Hyperloop). Os resultados obtidos a partir da abordagem de logsum e a comparação com os obtidos com a abordagem de preferência declarada são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição da demanda induzida por motivo de viagem

Trecho	Abordagem Logsum					Abordagem PD			
	Motivo	Logsum sem Hyperloop	Logsum com Hyperloop	SE ij	Nij	D. induzida ij	D. induzida / D. Hyperloop (%) (por motivo de viagem)	D. induzida / D. Hyperloop (%) (por trecho)	D. induzida / D. Hyperloop (%) (por trecho)
POA-GRA	Lazer	-2.185	-1.688	2.2E+15	827,660	533,87	62%	62%	26%
POA- CXS	Lazer	-2.290	-1.745	2.6E+15	703,570	509,60	64%	65%	11%
GRA-CXS	Lazer	-1.345	-0.930	7.4E+14	320,640	164,53	56%	57%	18%
POA-GRA	r	-1.769	-1.248	2.2E+15	599,340	410,49	63%		
POA- CXS	r	-1.870	-1.302	2.6E+15	2,355,430	1,800,93	66%		
GRA-CXS	r	-1.079	-0.631	7.4E+14	347,360	196,25	59%		

R2=0.572 Intercepto: 13.06 (valor-p 0.00) Logsum:1.0456(valor-p 0.20*) SE 1.197E-15(valor-p 0.12*) * coeficientes significativos com 80% de confiança, utilizado para reduzir o tipo de erro II.

Aplicando a abordagem do logsum a demanda induzida é significativamente maior do que aplicando a abordagem proposta a partir de preferência declarada. A aplicação da abordagem logsum apresenta muitas limitações neste estudo específico, devido à limitação de dados existentes para o corredor estudado. Cada rota (par OD) consistia unicamente em um valor agregado do número de viagens, uma vez que não se contava com dados de demanda reais desagregados. O modelo de regressão descrito na equação 1 foi estimado unicamente com 6 observações (três pares OD para cada motivo de viagem, lazer e não lazer). Assim, a estimação do número de viagens induzidas com esta abordagem foi baseada em muito poucas observações, o qual compromete a aplicação do modelo para analisar a mudança na acessibilidade. Esta limitação está presente em muitos estudos, principalmente no Sul Global, onde os recursos de pesquisa e coleta de dados são limitados, e muitas vezes não se dispõe de dados desagregados das demandas existentes.

Entretanto, a abordagem utilizando preferência declarada relativa a viagens adicionais, foi baseada em informações de todos os respondentes (usuários e não usuários), para cada trecho, em diferentes cenários propostos. Desta forma, permitiu estimar modelos com mais observações, aumentando a confiabilidade e acurácia dos modelos estimados. Os valores de demanda induzida utilizados para previsão correspondem aos valores obtidos com esta segunda abordagem.

Adicionalmente, a abordagem logsum requer um processo de estimação muito mais complexo,



que inicia na mensuração da demanda gerada em cada rota até determinar a divisão modal através de modelos de escolha discreta. Entretanto, a aplicação proposta, determinando diretamente o número de viagens adicionais a partir de informações declaradas pelos indivíduos, pode ser estimado em qualquer software estatístico, aplicando uma pesquisa específica com modelos muito mais simples e informações de mais fácil obtenção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A demanda induzida representa uma parte significativa das demandas futuras totais esperadas em projetos que buscam disponibilizar um novo sistema de transporte. Este artigo buscou estimar a contribuição das demandas induzidas diretas, referentes as melhorias esperadas nos parâmetros operacionais das viagens, como o tempo e a confiabilidade do tempo. Para tal foram aplicadas duas abordagens de estimação no estudo de caso de um novo trem de alta velocidade (Hyperloop) conectando Porto Alegre a Serra Gaúcha.

Os resultados dos modelos demonstraram que a demanda induzida pode variar de 11% a 66% dependendo da abordagem utilizada e da rota estudada. A principal rota de lazer (Porto Alegre – Gramado), foi a que apresentou o maior potencial de geração de demanda induzida na abordagem de preferência declarada. Estes resultados indicam um potencial de mais viagens a lazer sendo realizadas caso as melhorias de tempo de viagem proporcionadas pelo sistema fossem realizadas. O novo sistema, e o aumento no número de viagens a lazer que traz por consequência, podem potencializar o setor turístico da região, trazendo ganhos econômicos para às duas cidades. Ressalta-se que a atual conexão entre às duas cidades apresenta trechos tortuosos e de baixa capacidade (pista simples) e com áreas suscetíveis a nevoeiro, com tempo médio de viagem igual a 2h. Ou seja, a situação atual pode representar um impedimento as viagens que seria minimizado pelo Hyperloop. No caso da abordagem Logsum, a maior demanda induzida deu-se no trecho Porto Alegre – Caxias do Sul para viagens não lazer.

Às duas abordagens testadas, Abordagem Logsum e Abordagem Preferência Declarada, apresentaram resultados bastantes distintos, sendo os maiores valores estimados pela Abordagem Logsum. Conforme descrito anteriormente, a Abordagem Logsum apresentou-se limitada nesse estudo devido à indisponibilidade de dados. Ainda, a abordagem de preferência declarada apresentou valores mais condizentes com os esperados, visto que se entende que há um potencial maior de criação de novas a viagens a lazer do que por motivos como estudo, trabalho e compras.

Por fim, ressalta-se a importância da estimação de viagens induzidas em estudos de viabilidade. Considerando a abordagem Preferência Declarada, as novas viagens podem representar um acréscimo de 11 a 26% das demandas derivadas e por crescimento econômico. Esses percentuais não são desprezíveis quando se considera a viabilidade econômica de um projeto, sendo maiores que muitos parâmetros utilizados em análises de sensibilidade.

Portanto, este artigo demonstrou a necessidade de estimar demanda induzida em estudos de viabilidade de projetos de transportes, apresentando novas técnicas de estimação de demanda induzida e comparado com abordagens tradicionais e discutiu as características locais do estudo de caso. Para trabalhos futuros recomendam-se novos comparativos em novos estudos de viabilidade onde existam dados para a estimação completa da abordagem *Logsum*, assim como



a checagem dos resultados com a implantação dos sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cameron, A. C., e Trivedi, P. K. (1990) *Regression-based tests for overdispersion in the Poisson model*. *Journal of Econometrics* (Vol. 46).
- Cao, X., Handy, S. L., e Mokhtarian, P. L. (2006) The influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behavior: Evidence from Austin, TX. *Transportation*, 33(1), 1–20. doi:10.1007/s11116-005-7027-2
- Cascetta, E., e Coppola, P. (2014) High Speed Rail (HSR) Induced Demand Models. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 147–156. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.047
- Chen, Z. (2022) Socioeconomic Impacts of high-speed rail: A bibliometric analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*. doi:10.1016/j.seps.2022.101265
- Cherchi, E., e Ortúzar, J. de D. (2008) Empirical identification in the mixed logit model: Analysing the effect of data richness. *Networks and Spatial Economics* (Vol. 8, pp. 109–124). doi:10.1007/s11067-007-9045-4
- Choice Metrics. (2014) Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Guide., 248.
- de Dios Ortuzar, J., e Iacobelli, A. (1998) Mixed modelling of interurban trips by coach and train. *Transept Res. A*, 32(5), 345–357.
- de Jong, M. G., Daly, A., Pieters, M. e Van der Horns, T. (2007b) *The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41, 874–889. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.10.002>.
- de Jong, M. G., Steenkamp, J.-B. E. M., e Fox, J.-P. (2007b) *Relaxing Measurement Invariance in Cross-National Consumer Research Using a Hierarchical IRT Model*. *JOURNAL OF CONSUMER RESEARCH, Inc.* • (Vol. 34). Obtido de <http://jcr.oxfordjournals.org/>
- Dobruszkes, F., Dehon, C., e Givoni, M. (2014) Does European high-speed rail affect the current level of air services? An EU-wide analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 461–475. doi:10.1016/j.tra.2014.09.004
- Foster, V., e Mourato, S. (2002) Testing for Consistency in Contingent Ranking Experiments. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44, 2002. doi:10.1006/rjeem.2001.1203
- Geurs, K., Zondag, B., de Jong, G., e de Bok, M. (2010) Accessibility appraisal of land-use/transport policy strategies: More than just adding up travel-time savings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(7), 382–393. doi:10.1016/j.trd.2010.04.006
- Givoni, M., e Dobruszkes, F. (2013, November) A Review of Ex-Post Evidence for Mode Substitution and Induced Demand Following the Introduction of High-Speed Rail. *Transport Reviews*. doi:10.1080/01441647.2013.85370
- Greene, W. H. (2003) *Econometric analysis*. Prentice Hall.
- GTZ. (2009) *Demystifying Induced Travel Demand*. Obtido de <http://www.sutp.org>
- Handy, S. L., e Niemeier, D. A. (1997) *Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives*. *Environment and Planning A* (Vol. 29).
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., e Cybis, H. B. B. (2018) *Using best-worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil*. *Transportation*. Springer US. doi:10.1007/s11116-018-9944-x
- Rose, J. M., e Bliemer, M. C. J. (2008) Stated Preference Experimental Design Strategies. *Handbook of Transport Modelling*, 151–180. doi:10.1108/9780857245670-008
- Saelensminde, K. (2002) *The Impact of Choice Inconsistencies in Stated Choice Studies*. *Environmental and Resource Economics* (Vol. 23).
- Schultz, F., Rodrigues, P., Larranaga, A. M., Beatriz, H., Cybis, B., Arellana, J., e Lucchesi, S. T. (2021) Impact of strategies to encourage bicycle use on work trips: a case study involving employees of Companhia Riograndense de Saneamento • *Revista DYNA*, 88(219), 59–67. doi:10.15446/dyna.v88n218.95873
- TAV Brasil (2009) Vol 1 – Estimativas de Demanda e Receita – Relatório Final.
- TEMS. (2020) *Great Lakes Hyperloop Feasibility Study*.
- Tsekeris, T., e Tsekeris, C. (2011) Demand forecasting in transport: Overview and modeling advances. *Ekonomika Istrazivanja*, 24(1), 82–94. doi:10.1080/1331677X.2011.11517446
- Zhang, D., Luchian, S., Raycroft, J., e Ulama, D. (2019) Induced Travel Demand Modeling for High-Speed Intercity Transportation. *Transportation Research Record*, 2673(3), 189–198. doi:10.1177/0361198119837189