

NEREUS

Núcleo de Economia Regional e Urbana
da Universidade de São Paulo

The University of São Paulo
Regional and Urban Economics Lab

MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E PRODUTIVIDADE: NOTA SOBRE A VALORAÇÃO ECONÔMICA DO TEMPO DE VIAGEM NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Eduardo A. Haddad
Renato. S. Vieira

TD Nereus 08-2015
São Paulo
2015

Mobilidade, Acessibilidade e Produtividade: Nota sobre a Valoração Econômica do Tempo de Viagem na Região Metropolitana de São Paulo¹

Eduardo A. Haddad e Renato S. Vieira

Resumo. O objetivo deste artigo é introduzir no debate sobre valoração do tempo de viagem dos trabalhadores urbanos uma visão alternativa sobre a integração de alguns de seus canais de transmissão para a economia. A relação entre tempo de deslocamento, mobilidade e produtividade é explorada, juntamente com a possibilidade de se capturar seus efeitos de equilíbrio geral em um sistema econômico espacial. O método proposto é aplicado para o caso da RMSP. Além de oferecermos parâmetros adicionais para avaliação econômica de projetos de mobilidade urbana na RMSP, efetuamos o cálculo das perdas econômicas associadas às fricções de mobilidade excessivas na região.

1. Introdução

Há cinquenta anos, o trabalho pioneiro de Gary Becker (1965) sobre a alocação do tempo pelas famílias estimulou o interesse em estudos empíricos sobre o valor do tempo em usos alternativos. Em economia de transporte, atenção especial foi dada ao desenvolvimento de técnicas para medir a demanda por viagens por diferentes modos ou rotas, possibilitando inferir o valor do tempo pelas relações entre as diferentes escolhas dos viajantes (Nelson, 1977).

Numerosos estudos de demanda de viagens foram realizados ao longo das últimas cinco décadas, muitos dos quais produziram estimativas do valor do tempo de viagem. No âmbito de avaliação de projetos de transporte, estas informações tornaram-se bastante úteis, dentre outros, para se tentar mensurar o impacto em variáveis como o PIB e bem-estar, ao se introduzir a discussão de custo de oportunidade do tempo na geração de riquezas de uma economia (Abrantes e Wardman, 2011). Na prática, especificamente no caso dos deslocamentos pendulares dos trabalhadores, a combinação das estimativas de valor da hora de “não trabalho” despendida em transporte com informações sobre variações nos tempos de viagem e parâmetros do mercado de trabalho do espaço econômico de referência possibilita produzir estimativas *ad hoc* sobre perdas ou ganhos econômicos associados aos impactos diretos de projetos de transporte. Tais

¹ Eduardo A. Haddad agradece o apoio financeiro da Fapesp (2013/00894-1 e 2014/25030-2) e do CNPq (405032/2012-9), bem como a hospitalidade dos colegas das Universidades de Princeton e Rutgers.

procedimentos se baseiam em hipóteses fortes sobre usos alternativos do tempo despendido em trânsito. Do ponto de vista teórico, todavia, a transição entre os conceitos de valor do tempo de viagem e custo de oportunidade do tempo para a sociedade nem sempre é direta (Truong e Hensher, 1985; Mackie *et al.*, 2001).

Evidências a partir de estudos de escolha modal sugerem que o valor do tempo economizado em deslocamentos dos trabalhadores representa um percentual (multiplicador) de seu salário-hora, com estimativas que variam em um amplo intervalo (Wardman, 1998; Abrantes e Wardman, 2011; Santos, 2012). As diferenças advêm de vários fatores relacionados aos tipos e contextos das viagens analisadas, além de diferenças metodológicas. A prática corrente para avaliação econômica de projetos de transporte segue orientações a esse respeito. No caso dos benefícios associados a reduções de tempo de viagem, as diretrizes usuais sugerem atribuir ao “tempo de não trabalho” valores entre 10% a 50% do valor do “tempo de trabalho”, este avaliado pelo salário vigente para os viajantes típicos (Dalbem *et al.*, 2010). Entretanto, são raras as orientações específicas para a quantificação dos impactos econômicos mais abrangentes, em grande medida por dificuldades técnicas e operacionais (Grant-Muller *et al.*, 2010).

Neste artigo apresentamos uma solução metodológica para a transição entre a quantificação dos impactos diretos de projetos de transporte e seus impactos econômicos mais abrangentes. Tal solução, devido a sua complexidade, ainda não resolve problemas relacionados à operacionalização de uma prática corrente de avaliação. Todavia demonstra que as dificuldades técnicas não são intransponíveis.

O método proposto, desenvolvido em Haddad *et al.* (2015) para a avaliação dos impactos econômicos do metrô de São Paulo, considera a relação entre mobilidade, acessibilidade e produtividade, e seus efeitos de equilíbrio geral. Utilizaremos a medida de produtividade dos trabalhadores como um indicador de desempenho econômico associado às fricções do sistema de transporte urbano. Ao mapearmos as mudanças de produtividade por local de residência e local de trabalho, poderemos estimar os efeitos econômicos mais abrangentes (e.g. PIB e bem-estar) por meio de simulações com um modelo espacial de equilíbrio geral computável (EGC).

Na próxima seção, descreveremos a configuração espacial de alguns elementos estruturais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), nosso objeto de estudo, que serão relevantes para o entendimento de nosso exercício. A seguir, apresentaremos as linhas gerais da metodologia a ser empregada em nossas simulações. As duas seções seguintes apresentarão os resultados empíricos de nossos exercícios. Primeiro, faremos uma simulação genérica para estimar algumas dimensões econômicas do valor marginal do tempo de viagem na RMSP. Segundo, ofereceremos uma estimativa da ineficiência estrutural da infraestrutura de transportes na maior metrópole brasileira e do custo econômico associado. Teceremos alguns comentários conclusivos na última seção do trabalho.

2. Aspectos Estruturais da RMSP

Com cerca de 20 milhões de habitantes, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é o maior aglomerado urbano do Brasil, concentrando 10% da população nacional em uma área de 2.139 km² (IBGE, 2010). A RMSP é também o maior centro corporativo, financeiro e industrial do país, sendo responsável por em torno de 20% do PIB brasileiro (IBGE).

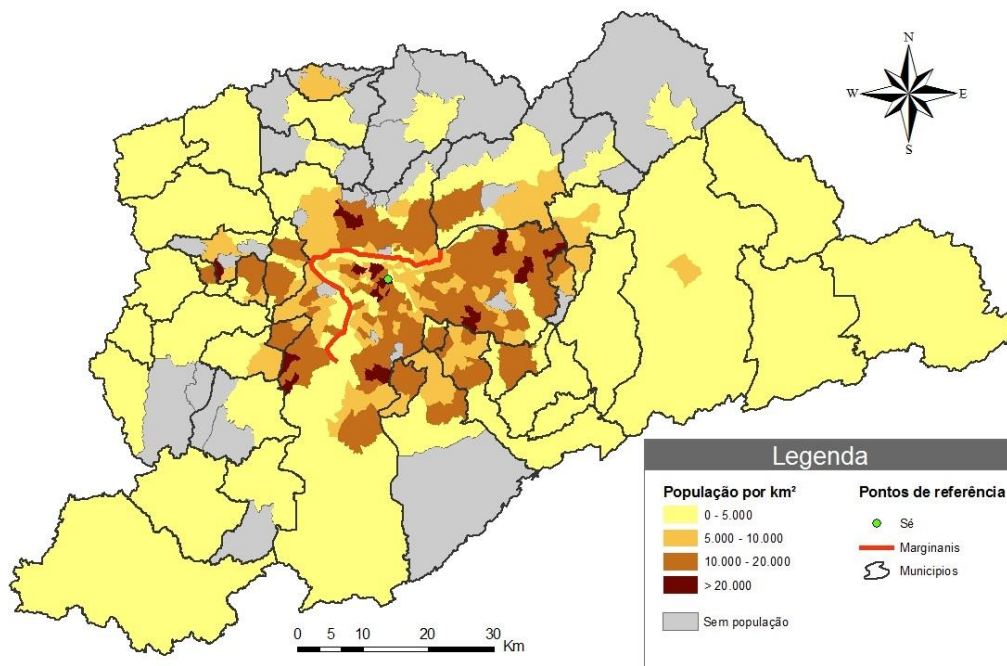
Esta seção visa analisar, a partir dos microdados da amostra do Censo 2010 e da Pesquisa OD 2007², os movimentos pendulares desses trabalhadores, ou seja, observar qual o fluxo diário entre o local de moradia e de trabalho das pessoas que desempenham atividades econômicas em municípios diferentes daqueles nos quais residem. Tais informações são fundamentais na calibragem do modelo de micro-simulação não comportamental e do modelo EGC, pois a partir desses dados é possível mapear a estrutura da renda do trabalho, associando precisamente não só a renda total dos moradores de cada região, mas também o local de origem da produção.

Apesar de ser uma região altamente urbanizada, a população da RMSP não se distribui de forma homogênea. A densidade populacional é maior na região central da cidade, especialmente nos entornos da Praça da Sé (Figura 1). Entretanto, diversas áreas

² A Pesquisa de Origem e Destino (OD) é um levantamento amostral de residências realizado pela Companhia do Metrô com o objetivo de coletar informações sobre as viagens realizadas pela população da RMSP em típico dia útil.

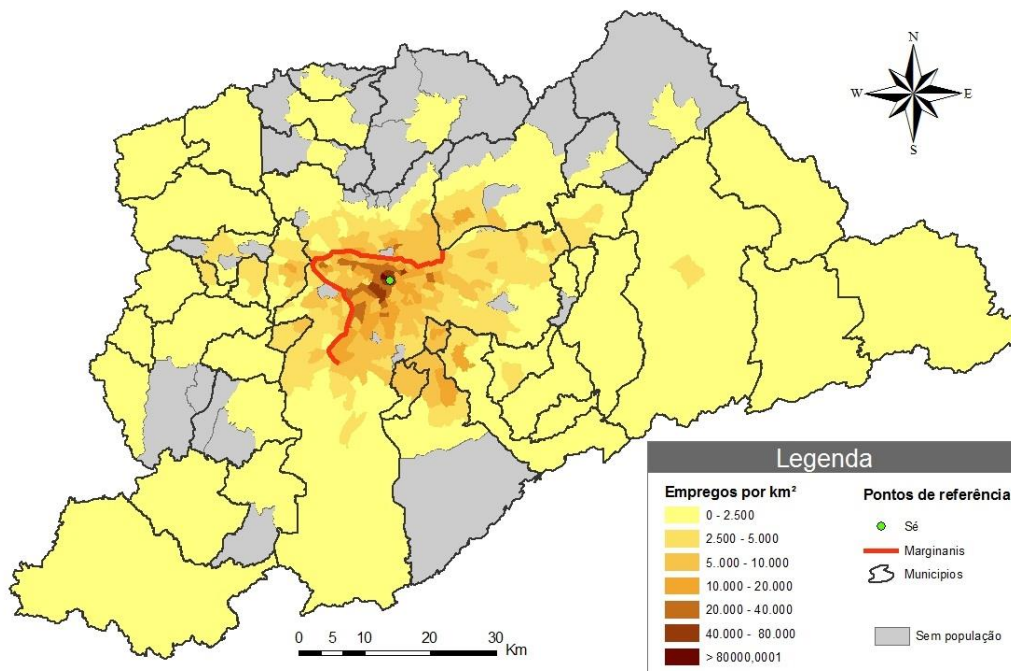
periféricas também possuem elevada densidade populacional. Com relação à distribuição espacial dos empregos, percebe-se um padrão ainda mais centralizado, com uma ampla concentração dos postos de trabalho na região entre as marginais. (Figura 2).

Figura 1. Densidade Demográfica na RMSP



Fonte dos dados: Pesquisa OD do Metrô 2007

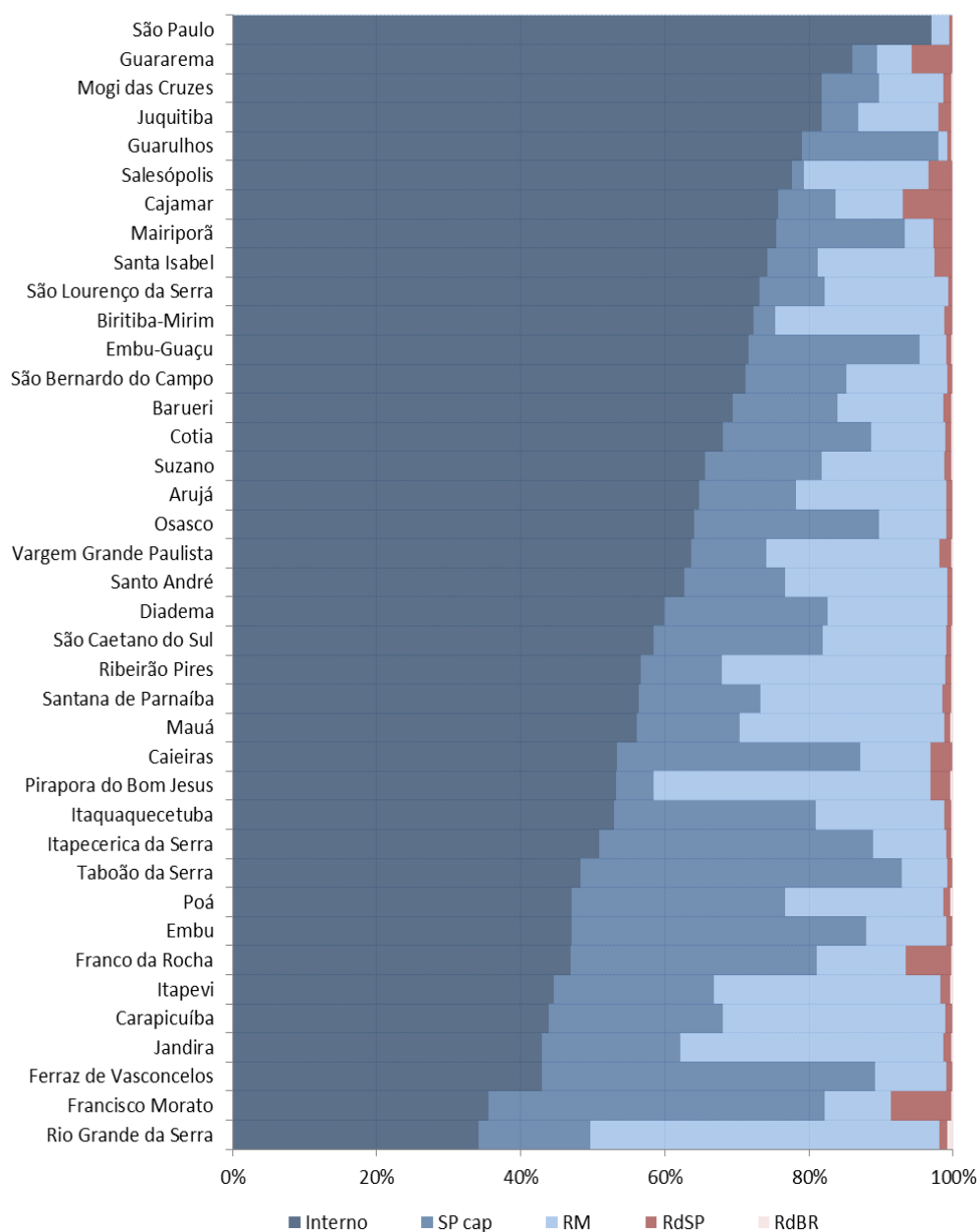
Figura 2. Densidade de Empregos na RMSP



Fonte dos dados: Pesquisa OD do Metrô 2007

A Figura 3 apresenta a proporção dos trabalhadores de cada município de acordo com o local no qual efetivamente trabalham. Os municípios estão organizados a partir da proporção de pessoas empregadas na própria cidade. São Paulo possui a maior proporção (95,6%); já os municípios dormitórios de Rio Grande da Serra (34,2%), Francisco Morato (35,6%), Ferraz de Vasconcelos (42,8%) e Jandira (43%) são aqueles com as menores proporções de residentes empregados localmente. A Figura 3 também identifica a proporção dos trabalhadores de cada município que trabalham na cidade de São Paulo. Observa-se a grande importância desse tipo de movimento pendular para grande parte dos municípios da região metropolitana, especialmente Francisco Morato (46,2%), Ferraz de Vasconcelos (45,9%), Taboão da Serra (44,1%), Embu (40,4%), Itapeverica (37,4%), Franco da Rocha (34%) e Caieiras (33,6%). A cidade de São Paulo mostra-se menos importante para os municípios afastados ao leste da RMSP, tal como em Salesópolis (1,7%), Biritiba (3%) e Guararema (3,5%). Dentre os municípios com maior proporção dos trabalhadores que trabalham nos demais municípios da RMSP – que não trabalham nem em São Paulo nem internamente –, destacam-se Rio Grande da Serra (48,5%) Pirapora do Bom Jesus (38,4%) e Jandira (36,5%). No extremo oposto encontram-se os maiores municípios da região metropolitana, isso é, Guarulhos (1,2%) e São Paulo (2,5%). Finalmente, também é importante observar os municípios onde parte dos trabalhadores se deslocam para os demais municípios do Estado de São Paulo, sendo o caso mais notável o de Francisco Morato, onde essa proporção chega a 8,3%. Outros municípios em que essa proporção ultrapassa a linha de 5% são: Cajamar (6,8%), Franco da Rocha (6,3%), e Guararema (5,5%).

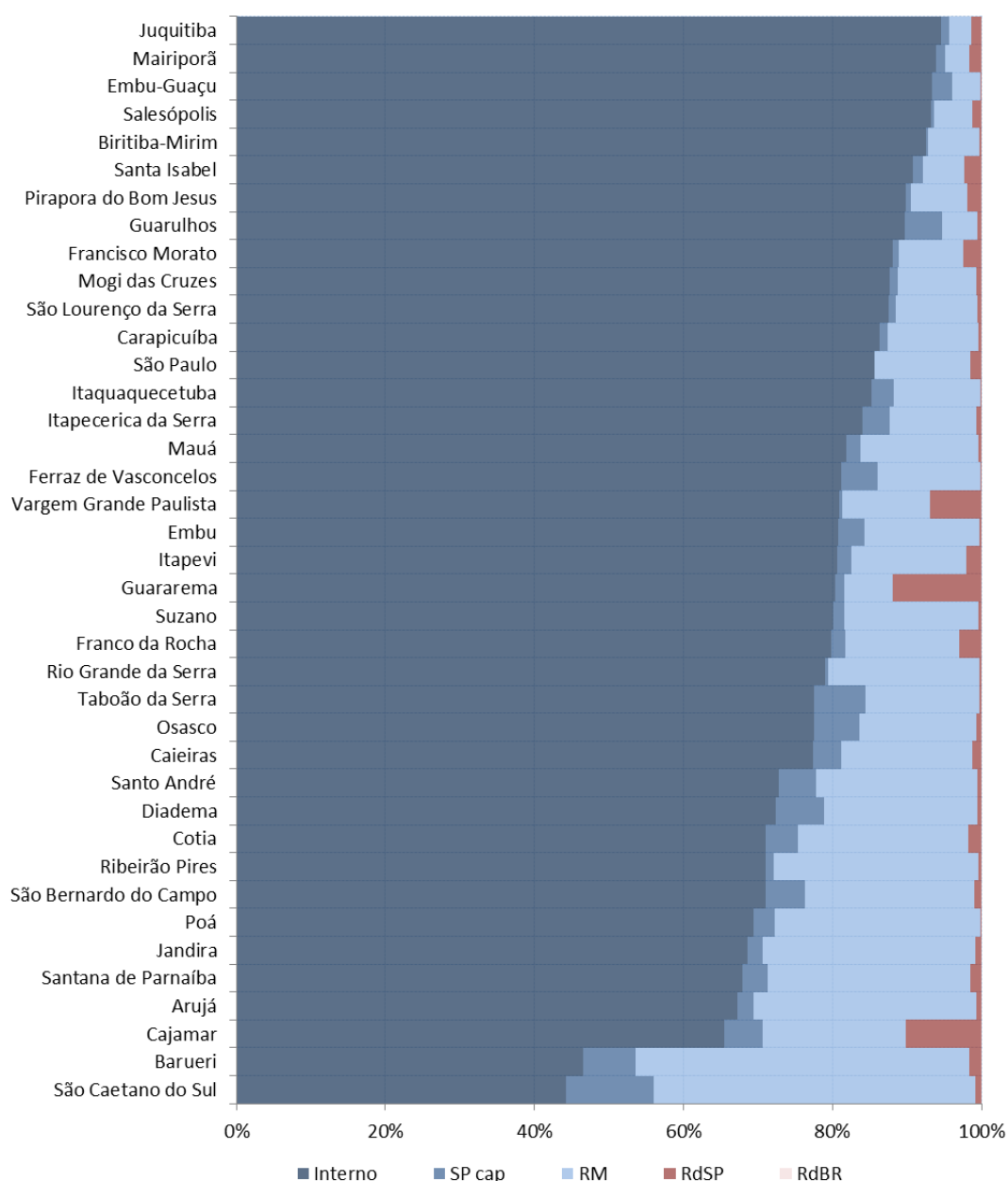
Figura 3. Distribuição dos Trabalhadores Residentes nos Municípios da RMSP (% por local de trabalho)



Fonte dos dados: Censo 2010, IBGE

Outra análise relativa aos movimentos pendulares na região é o estudo da distribuição dos trabalhadores não pelo local de destino (trabalho), mas sim pelo local de origem (residência). Os resultados dessa distribuição são apresentados na Figura 4.

**Figura 4. Distribuição dos Trabalhadores nos Municípios da RMSP
(% por local de residência)**



Fonte dos dados: Censo 2010, IBGE

O principal aspecto a ser observado nesse caso para a RMSP é a significativa “pendularidade” em direção aos municípios de São Caetano do Sul e Barueri, onde mais de 50% da mão-de-obra reside em outros municípios. Com relação a São Caetano do Sul é interessante observar ainda que desses trabalhadores que vêm de fora, 21% são originários de São Paulo. Vale ressaltar também a participação dos trabalhadores residentes no restante do estado que trabalham em Cajamar (12%), Guararema (10%) e Vargem Grande (7%).

Pode-se concluir que há uma grande pendularidade³ diária de trabalhadores na RMSP, sendo o principal fluxo aquele originado nos demais municípios para o município de São Paulo (51% dos fluxos pendulares).⁴ Os trabalhadores que saem de São Paulo para trabalhar no restante da região metropolitana somam mais 10,5% do total de movimentos pendulares. Diversos municípios se encaixam na categoria de cidades dormitório, como por exemplo, Rio Grande da Serra, Francisco Morato, Ferraz de Vasconcelos, Jandira, Carapicuíba, Itapevi, Franco da Rocha, Embu, Poá e Taboão da Serra, uma vez que em todas essas cidades, menos de metade da mão-de-obra trabalha no próprio município. Ainda é possível destacar que os municípios mais afastados de São Paulo possuem uma integração menor com a capital e com o restante da região metropolitana, como são os casos de Salesópolis, Biritiba-Mirim, Guararema e Juquitiba.

No que se segue, apresentaremos a estratégia de modelagem utilizada neste trabalho, que está centrada em um modelo espacial de EGC. A modelagem parte de uma estimação econométrica da variação da produtividade decorrente de alterações no tempo de deslocamento ao trabalho e tais resultados alimentam o modelo EGC, o qual gera os resultados abrangentes sobre todo o sistema econômico.

3. Metodologia⁵

Esta seção tem por objetivo apresentar a estrutura metodológica, desenvolvida em Haddad *et al.* (2015), que foi utilizada para calcular os impactos econômicos do tempo de deslocamento dos trabalhadores da RMSP. Para identificar tais impactos, é necessário considerar os prováveis canais de difusão decorrentes de uma hipotética alteração no sistema. Sendo assim, o processo adotado foi o de identificar os fluxos de causalidade e estimar as reações iniciais a partir de uma modelagem econométrica, cujos resultados são utilizados para alimentar um modelo EGC, o qual é capaz de capturar os efeitos abrangentes dos impactos econômicos. Dessa forma, os caminhos de

³ São considerados como pendulares os trabalhadores que residem em um município e trabalham em outro.

⁴ Os fluxos pendulares de outros municípios da RMSP para a cidade de São Paulo equivalem a aproximadamente um milhão de trabalhadores.

⁵ Esta seção se baseia em Haddad *et al.* (2015).

difusão podem ser revelados e alterados onde necessário. Neste artigo, assumiremos alguma forma de “delta” para modificar os tempos de deslocamento e a matriz de acessibilidade, sem considerar as relações comportamentais que ocasionariam tal mudança.⁶

Os impactos seguem a seguinte estrutura (Figura 5). Partimos de um modelo de demanda de viagens (especificado para a RMSP) simulado com o software *Emme 4*. Do lado da oferta, o modelo considera a rede viária e o sistema de transporte público com linhas de metrô, trens e ônibus; e do lado da demanda, utiliza o banco de dados da Pesquisas OD 2007 para a RMSP, considerando uma grande amostra de famílias e de seus membros individuais, incluindo o comportamento de viagens urbanas desses indivíduos.⁷ Após a alocação de tráfego, o modelo de demanda de viagens oferece como *output*, para cada par de regiões, o custo generalizado de todas as opções de trajeto, e tal resultado é utilizado para se identificar o caminho ideal, ou seja, aquele com o menor custo generalizado possível. Os usuários são então alocados nesse trajeto. Outro *output* interessante dessa modelagem é a matriz de tempo de deslocamento, que indica o tempo necessário para um indivíduo ir de cada zona para todas as demais nos trajetos com custo generalizado mínimo, tanto no caso do transporte privado quanto público (nesse caso, pondera-se o tempo de caminhada, o tempo de espera e o tempo gasto no(s) veículo(s)).

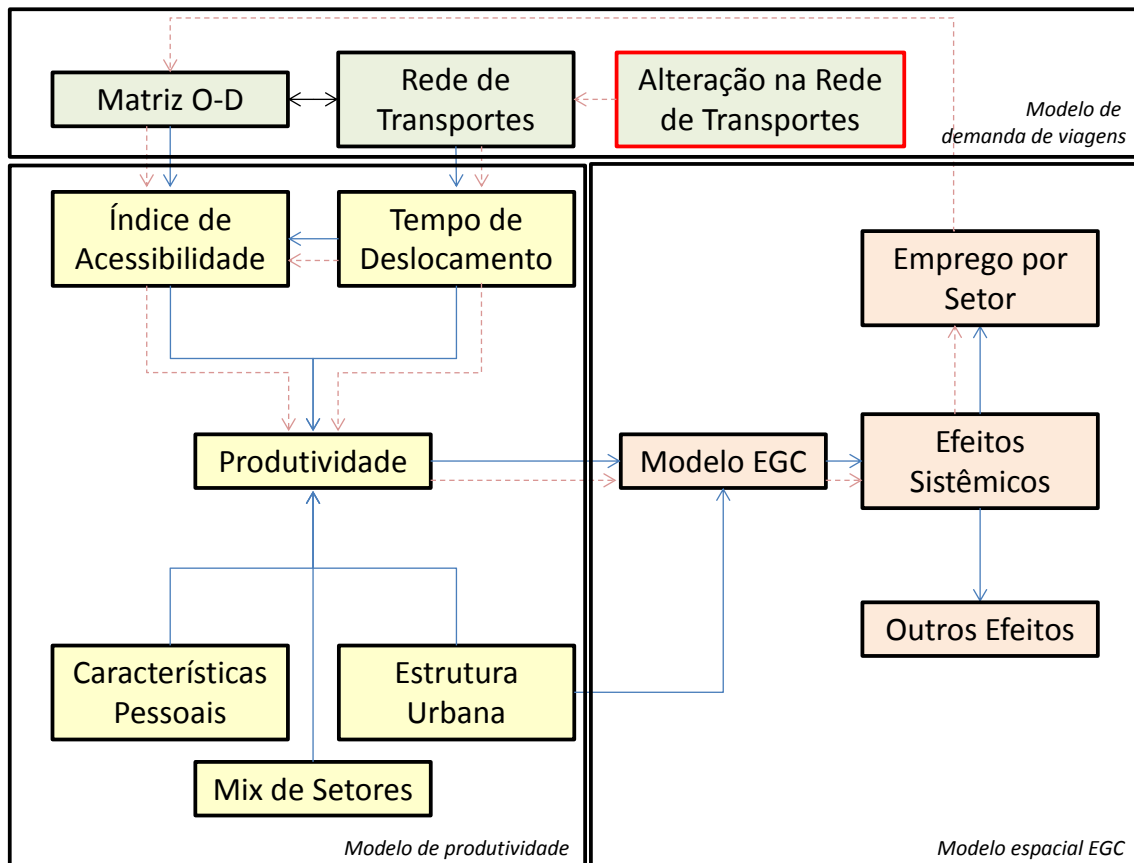
A matriz de tempo de deslocamento, juntamente com a base de dados da Pesquisa OD, fornece a informação necessária para a construção de um índice de acessibilidade, outra variável chave na modelagem integrada. Esse índice mede o acesso aos empregos em cada zona em consideração a partir de uma formulação gravitacional (Hansen, 1959), que pondera as oportunidades de acordo com a impedância para alcançá-las (Vieira e Haddad, 2015).⁸ A variável que conecta essa modelagem com o modelo EGC é a produtividade do trabalho da mão-de-obra de cada par de regiões de origem-destino.

⁶ O modelo de demanda de viagens será “desligado” em nossas simulações, sendo utilizado apenas no processo de calibragem do sistema.

⁷ Na RMSP, 91.000 indivíduos responderam ao questionário da pesquisa OD de 2007. Tais indivíduos representam 30.855 domicílios distribuídos por 460 zonas. O número mínimo de indivíduos em cada zona foi de 77, e o máximo 649. A pesquisa coletou informações sobre mais de 170.000 viagens, das quais 20% eram destinadas ao trabalho.

⁸ As oportunidades são definidas como o número de postos de trabalho em cada zona, e a impedância é definida a partir de uma função exponencial inversa do tempo de deslocamento.

Figura 5. A Modelagem Integrada



Fonte: Haddad et al. (2015)

O modelo de produtividade baseia-se na estimativa de uma equação econométrica para o salário dos trabalhadores. Tal modelo é calculado a partir dos microdados da Pesquisa OD, onde a variável dependente é o salário individual dos trabalhadores. O tempo de deslocamento ao trabalho e o índice de acessibilidade da região de moradia do trabalhador fornecem, para a fase de calibragem, os *soft links* com o modelo de demanda de viagens. Espera-se que deslocamentos mais longos diminuam a produtividade dos agentes, pois induzem o trabalhador a chegar mais tarde ao trabalho ou a sair mais cedo, além de aumentar o número de faltas (Van Ommeren e Gutiérrez-i-Puigarnau, 2011); além disso, os trabalhadores que realizam deslocamentos mais curtos apresentam maiores níveis de esforço no trabalho (Zenou, 2002). As economias de aglomeração (captadas pelo índice de acessibilidade), também influenciam

positivamente o ganho dos indivíduos, já que os trabalhadores tendem a ser mais bem pagos em mercados maiores e mais densos (Melo e Graham, 2009).⁹

O modelo econométrico controla os resultados da acessibilidade e do tempo de deslocamento considerando um vetor de características individuais (anos de escolaridade, idade e sexo), além de *dummies* para o município (local de trabalho) e *dummies* setoriais. Enquanto as *dummies* municipais tentam capturar a estrutura urbana e a superfície de salários em uma configuração urbana multicêntrica (Fujita e Ogawa, 1982), as *dummies* setoriais levam em conta a estrutura industrial e as diferenças de ganhos (e produtividade) entre os diferentes setores da economia.

A etapa de simulação permite considerar mudanças físicas na estrutura de rede de transporte. Pode-se, por exemplo, avaliar os efeitos econômicos espaciais de um investimento em uma nova linha de metrô, novos corredores de ônibus, alteração da velocidade máxima em trechos específicos, ou mesmo a adoção de um sistema de pedágio urbano, os quais terão impactos diretos sobre os custos generalizados das viagens, seja pela variação dos tempos de deslocamento, seja pelo incremento direto no custo monetário direto das viagens. O desafio passa a ser a identificação da forma como essas políticas traduzem-se em mudanças na matriz de produtividade¹⁰ do trabalho a partir de mudanças na matriz de tempo de deslocamento entre as regiões. Tal matriz integra a demanda por viagens aos modelos de produtividade do modelo EGC na fase de simulação. Como já salientado, em nossas simulações abriremos mão das propriedades do modelo de demanda de viagens. Faremos simulações de mudanças generalizadas do tempo de deslocamento para avaliar se a quantificação dos efeitos econômicos por meio do canal “produtividade” acrescenta informação relevante para se pensar em metodologias alternativas para mensuração do tempo gasto no trânsito.

Na fase de calibragem assume-se que a matriz de produtividade do trabalho no ano de referência seja unitária, e que variações percentuais sejam calculadas sobre os valores iniciais de modo que seja criada uma interface com o modelo EGC. Como na

⁹ Essa abordagem parte da visão de que os principais fatores determinantes da eficiência urbana são: o tamanho da cidade, a velocidade das pessoas (e bens); e a distribuição de empregos pela cidade. (Prud'homme e Lee, 1999).

¹⁰ A matriz de produtividade do trabalho oferece, para cada par de municípios, a média de produtividade por local de residência e trabalho.

calibragem das equações de demanda de trabalho as variáveis de produtividade do trabalho também são definidas unitariamente, as informações geradas pela demanda de viagens e pelo modelo de produtividade podem ser corretamente incorporadas no modelo EGC.

As novas estimativas de tempo de deslocamento afetam a produtividade tanto de forma direta como indireta (através de mudanças na acessibilidade). Com este novo conjunto de informações, as mudanças na produtividade do trabalho são calculadas, por zona de residência e zona de trabalho, e em seguida tal informação é agregada ao nível dos municípios, de modo que seja utilizada como *input* para criar um choque na produtividade do trabalho no modelo EGC.

3.1. Estimando os Impactos Abrangentes nos Níveis Regional e Nacional

Para estimar os impactos econômicos abrangentes das mudanças nos tempos de deslocamento dos trabalhadores na RMSP, utiliza-se um modelo EGC. Tal modelagem baseia-se na otimização simultânea do comportamento dos consumidores e das firmas (ambos sujeitos a restrições de recursos). Quando estendido a uma estrutura multi-regional, tal modelagem é capaz de designar a distribuição espacial dos impactos.

A especificação do modelo EGC parte do modelo B-MARIA, desenvolvido por Haddad e Hewings (1997) e Haddad (1999). O modelo B-MARIA – e suas extensões – tem sido amplamente utilizado para avaliar os impactos regionais das políticas econômicas no Brasil e em outros países. Desde a publicação do texto de referência, vários estudos têm sido realizados utilizando, como ferramenta analítica básica, variações do modelo original, estando a estrutura teórica do modelo B-MARIA bem documentada. Os resultados são baseados em uma abordagem *bottom-up* – ou seja, os resultados nacionais são obtidos a partir da agregação dos resultados regionais. O modelo identifica diferentes setores de produção/investimento em cada região produtora de diferentes matérias-primas, uma família representativa de cada região, os governos regionais e um governo federal, e uma única área externa que comercializa com cada região nacional através de uma rede de portos de saída e de entrada. Três fatores primários locais (terra, capital e trabalho) são usados no processo de produção conforme as dotações de cada região.

A calibragem do modelo EGC baseia-se em um sistema de insumo-produto inter-regional especificado com os municípios que compõem a RMSP, 56 setores e 110 produtos¹¹ a partir de um banco de dados no nível municipal para o ano de 2008. No caso do modelo para São Paulo, são 41 regiões – 39 referentes aos municípios da RMSP. Além disso, o modelo mapeia as relações interindustriais por local de produção, sendo que os pagamentos ao fator trabalho ocorrem no município de trabalho, e a estrutura de consumo no local de residência.¹²

As simulações com o modelo EGC utilizam como insumo as mudanças de produtividade calculadas a partir das informações sobre a matriz de tempo de deslocamento pós-choque e as micro-simulações não comportamentais baseadas nos coeficientes estimados para variações nos tempos de deslocamento e variações na acessibilidade. Os efeitos sistêmicos são, então, calculados a partir desses choques de produtividade da mão-de-obra.

3.2. Panorama das Simulações

Os resultados das simulações com o modelo EGC serão computados utilizando-se o procedimento de Gragg 2-4-6 com extrapolação em três fechamentos (Tabela 1), sendo um de curtíssimo prazo, sem os efeitos de aglomeração e com os estoques de capital exógenos, um segundo de curto prazo, que incorpora os efeitos de aglomeração via alterações na acessibilidade, e um terceiro fechamento misto de curto/longo-prazo (os estoques de capital são endógenos, mas os estoques de residência e a localização das moradias são fixos).

¹¹ Por restrições da capacidade de processamento computacional, utilizaremos uma versão agregada com 8 setores e 8 produtos.

¹² Essas dimensões espaciais seguem o padrão tradicionalmente encontrado em estudos metropolitanos pela abordagem de insumo-produto (Hewings *et al.*, 2001; Jun, 2004).

Tabela 1. Síntese dos Fechamentos Utilizados

<i>Ajustamento</i>	<i>Período</i>	<i>Efeito acessibilidade</i>	<i>Estoque de capital</i>
Curtíssimo prazo	6-12 meses	Não	Exógeno
Curto prazo	1-3 anos	Sim	Exógeno
Longo prazo	5-10 anos	Sim	Endógeno

A Figura 6 mostra as principais relações causais subjacentes aos resultados. Os exercícios de simulação partem das estimativas de variação na produtividade dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, beneficiam-se de melhor mobilidade para realizar seus deslocamentos diários.¹³ De acordo com a estrutura do modelo, isso representa, por um lado, uma redução do preço dos bens compostos, o que afeta positivamente a renda regional real: nesta abordagem de custo-competitividade, as empresas tornam-se mais competitivas – dado que os custos de produção reduzem (insumos estão mais baratos); os investidores preveem retornos potenciais mais altos – já que o custo de produção de capital também reduz; e as famílias aumentam sua renda real, com maiores possibilidades de consumo. Uma renda real maior gera maior demanda doméstica, enquanto que um aumento da competitividade dos produtos nacionais e regionais estimula a demanda externa. Isso cria espaço para um aumento na produção das empresas – destinada para os mercados doméstico e internacional – o que exige mais insumos e fatores primários. Esse aumento da demanda pressiona os preços dos mercados de fatores, ao mesmo tempo gerando expectativas de que os preços dos bens domésticos subam.

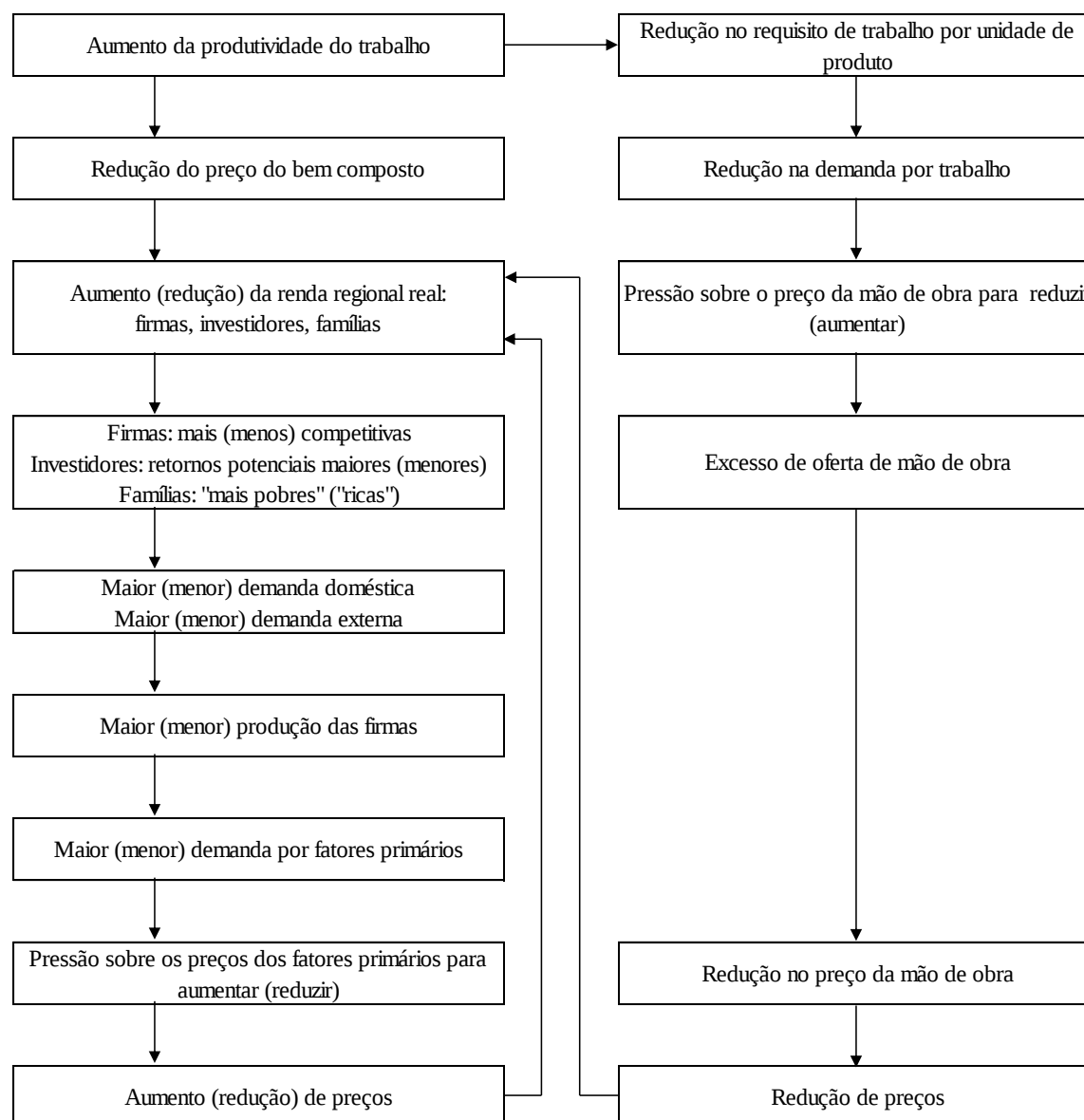
Por outro lado, o aumento da produtividade do trabalho também está associado com uma redução no requisito de trabalho por unidade de produção nos setores que empregam trabalhadores afetados pelas mudanças nos tempos de deslocamento. Como a produção torna-se menos intensiva em trabalho, *ceteris paribus*, a demanda por mão-de-obra cai, ocasionando um excesso de oferta de trabalho no sistema econômico. Isso cria uma pressão negativa sobre os salários, bem como sobre a renda do capital, dada a possibilidade de substituição imperfeita entre os fatores primários, que são repassados na forma de preços mais baixos.

¹³ Raciocínio inverso vale para o caso de redução de mobilidade.

As variações de preço de segunda ordem apontam para ambas as direções – aumento e redução. O efeito líquido dessa variação será determinado pelo valor relativo das forças envolvidas. A Figura 6 resume os mecanismos de transmissão associados aos principais efeitos de primeira e segunda ordem que são relevantes no processo de ajustamento subjacente aos resultados agregados do modelo.

No longo prazo, um mecanismo de ajustamento adicional torna-se relevante: o efeito “re-localização”. Como os fatores de produção podem mover-se entre regiões, novas decisões de investimento definem a re-localização marginal das atividades, no sentido da distribuição espacial do estoque de capital total da economia e da dinâmica populacional. As mesmas forças que afetam o desempenho das economias regionais são responsáveis pela criação de capital no longo prazo. Com custos de produção mais baixos, o acesso mais barato a bens de capitais não-locais aumenta potencialmente a taxa de retorno das regiões. Ao mesmo tempo em que isto beneficia as regiões importadoras de bens de capital, ocorre um impacto positivo sobre os setores de bens de capital nas regiões produtoras. Por outro lado, regiões com áreas de mercado ampliadas e, conseqüentemente, receitas mais altas, vislumbram maior remuneração ao capital, impactando, também, sua rentabilidade relativa. Finalmente, as regiões podem ser afetadas negativamente através da reorientação de fluxos de comércio (desvio de comércio), visto que a produtividade relativa é alterada no sistema.

Figura 6. Relações de Causalidade no Sistema de Equações do Modelo EGC



Apresentaremos, nas duas próximas seções, os resultados empíricos do estudo que exploram, inicialmente, as diferenças em termos de produtividade dos trabalhadores, consumo e PIB associadas a um aumento generalizado de 1% no tempo de migração pendular de todos os trabalhadores da RMSP. A seguir, consideraremos aspectos estruturais da economia metropolitana para estimar o valor esperado do tempo médio de deslocamento ao trabalho. Com isso, poderemos comparar o valor esperado ao valor observado e calcular as implicações para a produtividade dos trabalhadores da região e seus efeitos de equilíbrio geral, quantificando, assim, uma das dimensões associadas aos custos econômicos do tempo despendido no trânsito na RMSP.

4. Valoração Econômica do Tempo de Deslocamento dos Trabalhadores na RMSP

Aplicaremos o método descrito na seção anterior a fim de explorarmos suas potencialidades analíticas para lidar com questões relacionadas à mobilidade urbana e suas relações com o espaço econômico. Qual o valor, em termos de bem-estar e eficiência, de uma hora gasta no trânsito da RMSP? Quais regiões são mais afetadas? Para responder estas questões, exploraremos as propriedades do modelo em um conjunto de simulações consistindo no aumento generalizado em 1% do tempo de deslocamento dos trabalhadores entre e dentro das regiões que compõem a RMSP. Em outras palavras, para cada par de origem (local de residência) e destino (local de trabalho), o tempo de viagem será acrescido, simultaneamente, em 1%. As simulações serão feitas considerando os três ambientes econômicos (fechamentos) descritos anteriormente, refletindo o curtíssimo prazo, o curto prazo e o longo prazo. A ideia por trás deste experimento é avaliar os custos potenciais marginais associados a um aumento das fricções sobre a mobilidade urbana. Ater-nos-emos aos efeitos sobre crescimento (*PIB real*) e bem-estar (*consumo real das famílias*), e suas implicações macro espaciais.

As Tabelas 2 a 4 apresentam os principais resultados, oferecendo elementos adicionais para avaliação econômica de projetos de mobilidade urbana na RMSP. Em todas as três tabelas, os resultados se referem aos efeitos de cada dimensão econômica (consumo e PIB) em cada uma das quatro regiões – município de São Paulo, restante da RMSP, restante do Estado de São Paulo e restante do Brasil – por período de ajustamento. As estimativas são apresentadas em termos de fatores de ponderação do salário-hora vigente na RMSP em 2010 (Tabela 2), valores monetários em R\$ de 2010 (Tabela 3) e elasticidades específicas (Tabela 4).

Em linhas gerais, os resultados mostram que (i) os efeitos são inferiores em uma ordem de magnitude no curtíssimo prazo e são amplificados no longo prazo, quando o processo de ajustamento incorpora menos restrições; (ii) os efeitos não são circunscritos aos limites territoriais da RMSP, sendo os efeitos sobre o PIB, relativamente aos efeitos sobre consumo, mais relevantes nas outras regiões.

Tabela 2. Fatores de Ponderação (Multiplicadores) do Valor do Tempo de Deslocamento dos Trabalhadores da RMSP, por Dimensão Econômica e Região (em relação ao salário-hora vigente)

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	0,043	0,726	1,212	0,046	0,727	2,058
RMSP	0,025	0,481	0,855	0,018	0,386	1,010
Resto do Estado	0,003	0,041	0,314	0,003	0,042	0,475
Resto do Brasil	0,000	0,007	-0,048	0,003	0,039	0,505
BRASIL	0,071	1,255	2,333	0,070	1,194	4,049

Obs.: Salário-hora = R\$ 12,60

Tabela 3. Valor Econômico do Tempo de Deslocamento dos Trabalhadores da RMSP, por Dimensão Econômica e Região (em R\$ de 2010/hora)

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	0,54	9,14	15,27	0,57	9,16	25,93
RMSP	0,32	6,06	10,77	0,23	4,86	12,73
Resto do Estado	0,03	0,52	3,96	0,03	0,53	5,99
Resto do Brasil	0,00	0,09	-0,61	0,04	0,49	6,36
BRASIL	0,90	15,81	29,40	0,88	15,04	51,01

Obs.: Salário-hora = R\$ 12,60

Tabela 4. Elasticidades Consumo- e PIB- em Relação ao Tempo de Deslocamento dos Trabalhadores da RMSP

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	-0,017	-0,247	-0,412	-0,007	-0,100	-0,283
RMSP	-0,016	-0,257	-0,458	-0,007	-0,124	-0,325
Resto do Estado	-0,001	-0,009	-0,065	0,000	-0,005	-0,060
Resto do Brasil	0,000	0,000	0,002	0,000	-0,001	-0,013
BRASIL	-0,002	-0,037	-0,069	-0,001	-0,021	-0,070

5. Estimativa das Perdas Econômicas

O objetivo desta seção é avaliar se, e em que medida, o tempo despendido no deslocamento da residência para o trabalho gera perdas potenciais para a economia da RMSP e do Brasil. Tal avaliação será realizada em duas etapas. Primeiro, com base na especificação e estimação de uma equação do tempo médio de deslocamento dos trabalhadores em todo território nacional, utilizando informações estruturais sobre os municípios brasileiros, calcularemos o valor esperado do tempo médio de deslocamento para o trabalho na RMSP. Esta estimativa será comparada ao valor observado para inferirmos se há ou não (e em que magnitude) fricções de mobilidade excessivas na RMSP. Os dados são provenientes do Censo do IBGE 2010. No que se segue apresentaremos a formulação da equação de tempo baseada na teoria urbana, uma descrição sintética da base de dados e os resultados encontrados para a RMSP. Finalmente, na segunda etapa, utilizaremos estas informações para simularmos os impactos da eliminação de “excesso” de fricções de mobilidade no espaço metropolitano sobre o bem-estar das famílias (consumo real) e a eficiência econômica (PIB real).

A especificação teórica em equilíbrio geral de um sistema de cidades (Desmet e Rossi-Hansberg, 2013) permite-nos identificar relações entre o tempo de deslocamento dos trabalhadores e variáveis estruturais relacionadas a eficiência, amenidades e fricções de aglomerações urbanas. Assim, a equação a ser estimada será especificada da seguinte maneira:

$$tempo_i = \alpha + \beta E_i + \gamma A_i + \delta F_i + u_i \quad (1)$$

onde $tempo_i$ representa o tempo médio de deslocamento do trabalhador no município i , E_i um vetor de características relacionadas à eficiência/produktividade do município i , A_i um vetor que designa amenidades do município i , F_i um vetor de variáveis de fricção espacial, e u_i o resíduo. A Tabela 5 apresenta a lista de variáveis utilizadas no modelo e algumas estatísticas descritivas; a Tabela 6 apresenta os resultados da estimação.

Tabela 5. Lista de Variáveis e Estatísticas Descritivas

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio-Padrão</i>
<i>com_time_avg</i>	Tempo médio de deslocamento dos trabalhadores, em minutos	21,39	6,16
<i>rent_avg</i>	Valor médio do aluguel; em R\$	208,69	94,24
<i>emp_work</i>	Total de empregados no município	17218	160478
<i>dens</i>	Densidade demográfica, em hab/km ²	109	573
<i>area</i>	Área total, em km ²	1529	5622
<i>wage</i>	Salário médio dos trabalhadores (local de trabalho); em R\$	719,20	365,79
<i>tax_pc</i>	Recieta tributária per capita; em R\$	117,61	172,57
<i>rm</i>	Dummy; =1 se município faz parte de uma região metropolitana	0,21	0,40

Tabela 6. Parâmetros Estimados da Função de Tempo Médio de Deslocamento dos Trabalhadores

Variável Dependente: *l_com_time_avg*

<i>Variável</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Pad.</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>Prob.</i>
<i>lrent_avg</i>	0.1245743	0.013088	9.52	0.000
<i>lemp_work</i>	-0.3670859	.0185814	-19.76	0.000
<i>ldens</i>	0.4458192	.0179983	24.77	0.000
<i>larea</i>	0.4252156	.0175153	24.28	0.000
<i>lwage</i>	-0.1495093	.0112223	-13.32	0.000
<i>ltax_pc</i>	0.0399645	.0052833	7.56	0.000
<i>rm</i>	0.0458391	.0079532	5.76	0.000
<i>constante</i>	2.228298	.0605146	36.82	0.000
$R^2 =$	0.2760			
$n =$	5210			

Obs.: *l_com_time_avg* = tempo médio de deslocamento dos trabalhadores; *lrent_avg* = valor médio do aluguel; *lemp_work* = total de empregados no município; *ldens* = densidade demográfica; *larea* = área total; *lwage* = salário médio dos trabalhadores (local de trabalho); *ltax_pc* = recieta tributária per capita; *rm* = dummy (=1 se município faz parte de uma região metropolitana); sufixo “l-” indica valores em logaritmo natural.

Considerando uma unidade espacial com as características estruturais da RMSP, qual seria o valor esperado do tempo médio de deslocamento dos trabalhadores? Segundo as estimativas dos parâmetros da equação (1), o valor estimado seria 27,63% mais baixo que o valor observado (ganho médio por trabalhador de aproximadamente meia hora por dia no trajeto de ida e volta do trabalho). Esta aproximação a partir deste exercício nos sugere que, considerando aspectos estruturais do espaço econômico metropolitano, a RMSP apresenta fricções específicas que sugerem um potencial para melhoria da mobilidade urbana – mesmo quando comparado à experiência brasileira. Utilizando esta informação, podemos realizar os cálculos das perdas econômicas associadas a esta ineficiência. O ferramental descrito na seção 3 será empregado para avaliarmos os impactos sistêmicos de uma redução do tempo médio de deslocamento dos trabalhadores da RMSP da mesma magnitude. Os principais resultados estão na Tabela 7, em que as estimativas são apresentadas em termos de valores monetários, percentuais dos totais do ano base, e em termos de elasticidades implícitas.

Uma redução generalizada de 27,63% no tempo de viagem corresponderia a um aumento potencial de 15,75% da produtividade dos trabalhadores da RMSP, variando de 12,6% a 18,9% por município de destino. Em termos de PIB, o ajustamento de longo prazo da economia vislumbrando tal crescimento de produtividade dos trabalhadores metropolitanos poderia gerar um PIB para o país aproximadamente R\$ 110 bilhões mais elevado que o verificado em 2010 (2,83% maior). A população brasileira também perceberia um nível de consumo 2,83% mais elevado, equivalente a R\$ 64,5 bilhões.

Os impactos regionais seriam diferenciados, sendo que os efeitos relativos seriam ainda mais importantes para a cidade de São Paulo e os demais municípios da RMSP. No caso da capital do Estado, ela absorveria aproximadamente 50% de todo o benefício, o que significaria um PIB por volta de R\$ 54 bilhões (10,94%) mais elevado que o de 2010, e um nível de consumo de seus residentes R\$ 32 bilhões (16,17%) a mais que o consumo de 2010. Quanto aos demais municípios que compõem a RMSP, o ajustamento de longo prazo aos novos níveis de produtividade resultaria em aumento do consumo em 18,53% e do PIB em 12,89% (comparado aos níveis de 2010).

Finalmente vale salientar que os valores calculados para as elasticidades implícitas (Tabela 7c), apesar de diferentes dos da Tabela 4, não são muito destoantes, sugerindo

uma avenida potencial para exploração deste método para se buscar uma alternativa visando à operacionalização de uma prática mais geral de avaliação econômica de projetos de mobilidade urbana. Não é nosso objetivo, contudo, resolver esta questão neste trabalho.

Tabela 7. Impacto do Tempo de Deslocamento no Consumo das Famílias e no PIB, por Região, 2010 – Cenário de eliminação do excesso de fricções de mobilidade

a. R\$ milhões correntes

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	954,7	18115,2	32197,9	998,6	17351,8	53899,8
RMSP	549,8	12285,9	23435,0	393,6	9463,8	27140,2
Resto do Estado	54,1	919,6	8397,9	53,6	890,8	12932,2
Resto do Brasil	11,4	234,2	494,5	50,3	510,9	16025,3
BRASIL	1569,9	31555,0	64525,3	1496,1	28217,3	109997,5

b. % do total

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	0,48%	9,10%	16,17%	0,20%	3,52%	10,94%
RMSP	0,43%	9,71%	18,53%	0,19%	4,49%	12,89%
Resto do Estado	0,02%	0,28%	2,56%	0,01%	0,17%	2,41%
Resto do Brasil	0,00%	0,01%	0,03%	0,00%	0,02%	0,61%
BRASIL	0,07%	1,38%	2,83%	0,04%	0,73%	2,83%

c. Elasticidades implícitas em relação ao tempo de deslocamento

	<i>Consumo</i>			<i>PIB</i>		
	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>	<i>Curtíssimo prazo</i>	<i>Curto prazo</i>	<i>Longo prazo</i>
São Paulo	0,017	0,329	0,585	0,007	0,127	0,396
RMSP	0,016	0,352	0,671	0,007	0,163	0,466
Resto do Estado	0,001	0,010	0,093	0,000	0,006	0,087
Resto do Brasil	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,022
BRASIL	0,002	0,050	0,102	0,001	0,026	0,102

6. Considerações Finais

O objetivo deste artigo foi introduzir no debate sobre valoração do tempo de viagem dos trabalhadores urbanos uma visão alternativa sobre a integração de alguns de seus canais de transmissão para a economia. A relação entre tempo de deslocamento, mobilidade e produtividade foi explorada, juntamente com a possibilidade de se capturar seus efeitos de equilíbrio geral em um sistema econômico espacial.

Para tanto, ilustramos nossos pontos com a utilização de um modelo integrado, desenvolvido em Haddad *et al.* (2015), aplicado para o caso da RMSP. Além de oferecermos parâmetros adicionais para avaliação econômica de projetos de mobilidade urbana na RMSP, efetuamos o cálculo das perdas econômicas associadas às fricções de mobilidade excessivas na região. A exploração futura do método empregado neste trabalho configura-se, apesar de sua complexidade, em um caminho a ser percorrido visando à operacionalização de uma prática mais geral de avaliação econômica de projetos de transporte em sistemas metropolitanos.

Referências

- Abrantes, P. A..L. and Wardman, M. R. (2011). Meta-analysis of UK Values of Travel Time: An Update. *Transportation Research Part A*, v. 45, pp. 1-17.
- Becker, G. (1965). A Theory of the Time Allocation. *The Economic Journal*, v. 75, n. 299, pp. 493-517.
- Dalbem, M. C., Brandão, L. e Macedo-Soares, T. D. (2010). Avaliação Econômica de Projetos de Transporte: Melhores Práticas e Recomendações para o Brasil. *Revista de Administração Pública*, v. 44, n. 1, pp. 87-117.
- Desmet, K. e Rossi-Hansberg, E. (2013). Urban Accounting and Welfare. *American Economic Review*, v. 103, n. 6, pp. 2296–2327.
- Fujita, M. and Ogawa, H. (1982). *Multiple Equilibria and Structural Transition of Non-Monocentric Urban Configurations*. *Regional Science and Urban Economics*, v. 12, pp. 161-196.

- Grant-Muller, S. M., MacKie, P., Nellthorp, J. e Pearman, A. (2001). Economic Appraisal of European Transport Projects: The State-of-the-art Revisited. *Transport Reviews*, v. 21, n. 2, pp. 237-261.
- Haddad, E. A. (1999). *Regional Inequality and Structural Changes: Lessons from the Brazilian Economy*. Aldershot: Ashgate.
- Haddad, E. A. e Hewings, G. J. D. (1997). “The Theoretical Specification of B-MARIA”. *Discussion Paper REAL 97-T-5*, Regional Economics Applications Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign, November.
- Haddad, E. A., Hewings, G. J. D, Porsse, A. P., Van Leeuwen, E. S. e. Vieira, R. S. (2015). The Underground Economy: Tracking the Higher-order Economic Impacts of the São Paulo Subway System. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 73, PP. 18–30.
- Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, v. 25, n. 2, pp. 73-76.
- Hewings, G. J. D., Okuyama, Y., Sonis, M. (2001). Economic Interdependence within the Chicago Metropolitan Region: a Miyazawa Analysis. *Journal of Regional Science*, v. 41, n. 2, pp. 195-217.
- Jun, M. (2004). A Metropolitan Input-Output Model: Multisectoral and Multispatial Relations of Production, Income Formation, and Consumption. *Annals of Regional Science*, v. 38, pp. 131-147.
- Mackie, P. J., Jara-Diaz, S. and Fowkes, A. S. (2001). *Transportation Research Part E*, v. 37, pp. 91-106.
- Melo, P. C. and Graham, D. J. (2009). Agglomeration Economies and Labour Productivity: Evidence from Longitudinal Worker Data for GB’s Travel-to-Work Areas. *SERC Discussion Paper 31*, Spatial Economics Research Centre, The London School of Economics and Political Science.
- Nelson, J. P. (1977). Accessibility and the Value of Time in Commuting. *Southern Economic Journal*, v. 43, n. 3, pp. 1321-1329.
- Prud’homme, R. e Lee, C. W. (1999). Size, Sprawl, Speed and Efficiency of Cities. *Urban Studies*, v. 36, n. 11, pp. 1849-1858.
- Santos. C. C. (2012). O Valor do Tempo na Avaliação de Projetos de Transportes. *Dissertação de Mestrado*, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Truong, P. T. and Hensher, D. A. (1985). Measurement of Travel Time Values and Opportunity Cost from a Discrete-Choice Model. *The Economic Journal*, v. 95, n. 378, pp. 438-451.
- Van Ommeren, J. e Gutiérrez-i-Puigarnau, E. (2011). Are Workers with a Long Commute Less Productive? An Empirical Analysis of Absenteeism. *Regional Science and Urban Economics*, v. 41, pp. 1-8.
- Vieira, R. S. e Haddad, E. A. (2015). An Accessibility index for the Metropolitan Region of São Paulo. In: K. Kourtit, P. Nijkamp and R. R. Stough (editors), *The Rise of the City: Spatial Dynamics in the Urban Century*, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, pp. 242-258
- Wardman, M. (1998). The Value of Travel Time: A Review of British Evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, v 32, n. 3, PP. 285–316.
- Zenou, Y. (2002). How do Firms Redline Workers? *Journal of Urban Economics*, v. 52, pp. 391-408.