

O IMPACTO DE RESTRIÇÕES MONETÁRIAS SOBRE ANÁLISES DE ACESSIBILIDADE E EQUIDADE NOS TRANSPORTES

Daniel Herszenhut Meirelles Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Lício da Silva Portugal

Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Rafael Henrique Moraes Pereira

Rio de Janeiro

Agosto de 2021

O IMPACTO DE RESTRIÇÕES MONETÁRIAS SOBRE ANÁLISES DE
ACESSIBILIDADE E EQUIDADE NOS TRANSPORTES

Daniel Herszenhut Meirelles Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadores: Licio da Silva Portugal

Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Rafael Henrique Moraes Pereira

Aprovada por: Prof. Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Dr. Rafael Henrique Moraes Pereira

Prof. Mariana Abrantes Giannotti

Prof. Antônio Néelson Rodrigues da Silva

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2021

Santos, Daniel Herszenhut Meirelles

O impacto de restrições monetárias sobre análises de acessibilidade e equidade nos transportes / Daniel Herszenhut Meirelles Santos. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

VIII, 66 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Licínio da Silva Portugal

Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Rafael Henrique Moraes Pereira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 56 – 65.

1. Acessibilidade. 2. Equidade. 3. Custos monetários. I. Portugal, Licínio da Silva *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

*"O suburbano quando chega atrasado
O patrão mal-humorado
Diz que mora logo ali
Mas é porque não anda nesse trem lotado
Com o peito amargurado
Baldeando por aí
Imagine quem vem lá de Japeri
Imagine quem vem lá de Japeri"
- Guará e Jorginho das Rosas,
G.R.E.S Em Cima da Hora, 1984*

Agradecimentos

Aos meus pais, pelo amor e suporte incondicional.

Aos meus (vários!) orientadores, Licínio, Matheus e Rafael, pela sabedoria, paciência e sensibilidade.

Aos professores Antônio Nélon e Mariana, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora.

Aos meus grandes amigos e companheiros de casa (que com o decorrer da pandemia viraram também família), Felipe e Lindoia, pela parceria.

Aos amigos que fiz ao longo do mestrado, principalmente Thais, Ycaro e o pessoal do HIT, pela companhia e escuta.

Aos amigos que trago de outras ocasiões e que tanto contribuem para o meu desenvolvimento pessoal, Bia, Pedrão e Thadeu, pela disponibilidade.

À Jane e à Dona Helena por toda a ajuda e suporte ao longo desses anos.

Aos meus companheiros de AOP, pelos comentários e sugestões nas várias vezes que trouxe o trabalho à tona e pela troca nesse último ano-e-pouquinho.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro de março de 2019 a abril de 2020, e ao IPEA pelo suporte financeiro de maio de 2020 em diante.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

O IMPACTO DE RESTRIÇÕES MONETÁRIAS SOBRE ANÁLISES DE ACESSIBILIDADE E EQUIDADE NOS TRANSPORTES

Daniel Herszenhut Meirelles Santos

Agosto/2021

Orientadores: Licínio da Silva Portugal

Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Rafael Henrique Moraes Pereira

Programa: Engenharia de Transportes

Análises de equidade nos transportes frequentemente se baseiam em estimativas de acessibilidade que usam apenas o tempo de viagem como fator de impedância, ignorando outros elementos que também limitam o acesso a oportunidades, como o preço das viagens. Esta dissertação investiga como a incorporação simultânea de restrições de tempo de viagem e de custo monetário a uma medida de acessibilidade impacta análises de equidade baseadas na distribuição da acessibilidade. Para isto, calcula-se a acessibilidade ao emprego por transporte público na cidade do Rio de Janeiro usando uma medida de oportunidades cumulativas que considera diferentes combinações de limites de custo monetário e tempo de viagem. Em seguida, analisa-se como os níveis de desigualdade variam em cada um dos casos. Os resultados apontam que a prática usual de ignorar custos monetários tende a superestimar os níveis de desigualdade. Restrições monetárias mais rígidas, porém, não necessariamente levam a cenários menos equitativos. O efeito dos custos monetários sobre a desigualdade de acessibilidade depende das combinações de limites temporais e monetários consideradas. Isso é resultado da complexa interação entre políticas tarifárias, organização espacial da rede de transportes, características operacionais de cada modo e co-localização espacial da população e das oportunidades na área de estudo. Os resultados também sugerem que no caso do Rio o trem é o modo com maior potencial de mitigação de desigualdades de acessibilidade, e que promover maior integração tarifária entre ele e modos mais amplamente distribuídos é uma boa forma de aumentar os níveis de acessibilidade de grupos de baixa renda.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE IMPACT OF MONETARY CONSTRAINTS ON ACCESSIBILITY AND TRANSPORT EQUITY ANALYSES

Daniel Herszenhut Meirelles Santos

August/2021

Advisors: Licio da Silva Portugal
 Matheus Henrique de Sousa Oliveira
 Rafael Henrique Moraes Pereira

Department: Transportation Engineering

Transport equity analyses are often informed by accessibility estimates based solely on travel time impedance, ignoring other elements that might hinder access to activities, such as the monetary cost of a trip. This thesis examines how and to what extent simultaneously incorporating travel time and monetary costs constraints into accessibility measures may impact transport equity assessment. The job accessibility by transit in the city of Rio de Janeiro, Brazil, is calculated using cumulative opportunity measures under distinct combinations of temporal and monetary thresholds. The inequality levels of each one of these scenarios are then calculated and compared. The results suggest that the most common research practice of disregarding monetary costs tends to overestimate accessibility levels. However, stricter monetary constraints do not necessarily result in less equitable scenarios. How accessibility inequality is affected by monetary costs is highly dependent on what combinations of temporal and monetary cut-offs are considered in the analysis. This is the result of a complex interaction between fare policies, the spatial organisation and operational characteristics of transit systems, and the spatial co-distribution of jobs and residential locations. The results also suggest that in Rio's case the rail is a vital mode to combat transport inequalities, and that offering discounts between the rail and more widely distributed transit modes could increase the accessibility levels of low-income individuals without requiring adjustments to physical infrastructure and services' timetables.

Sumário

Agradecimentos	v
1 Introdução	1
1.1 Problema de pesquisa, hipóteses e premissas.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
2 Revisão da literatura	6
2.1 Acessibilidade e equidade.....	6
2.2 Medidas de acessibilidade.....	10
2.3 O custo monetário em medidas baseadas em localidades.....	14
3 Caracterização da área de estudo	18
4 Dados e métodos	29
4.1 Dados.....	29
4.2 Matrizes de tempo de viagem e de custo monetário.....	30
4.3 Estimativas de acessibilidade.....	32
4.4 Estimativas de desigualdade.....	36
5 Resultados	38
5.1 Distribuição espacial da acessibilidade.....	38
5.2 Níveis de desigualdade.....	43
6 Conclusões	49
6.1 Limitações e recomendações para trabalhos futuros.....	53
Referências bibliográficas	56
Apêndice	66

1 Introdução

O planejamento urbano e de transportes vem passando por uma mudança de paradigma que leva pesquisadores e tomadores de decisão a prestar mais atenção às dimensões ambientais e sociais dos transportes, em detrimento de um olhar puramente técnico e econômico voltado principalmente à provisão de infraestrutura para a circulação de automóveis (BANISTER, 2008, BERGER, FEINDT, *et al.*, 2014, HICKMAN, HALL, *et al.*, 2013, MANAUGH, BADAMI, *et al.*, 2015). Essa mudança passa pela maior valorização de sistemas de transporte público e pelas condições de acesso a oportunidades que eles promovem à população, o que por sua vez leva a um aumento no número de trabalhos que se preocupam com questões de equidade e justiça nesses sistemas (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017, LUCAS, 2012, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017).

A equidade, neste contexto, está relacionada à distribuição de custos e benefícios de políticas de transporte entre os indivíduos de uma sociedade (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017). Nesse sentido, muitos trabalhos argumentam que os efeitos distributivos dessas políticas devem ser avaliados pelos níveis de acessibilidade que elas promovem, argumentando que um dos principais objetivos dos sistemas de transportes é promover o acesso a atividades valorizadas pela população (MARTENS, 2012, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, 2016).

O conceito de acessibilidade recebe diferentes significados, a depender da forma como é operacionalizado e do contexto em que é utilizado (GEURS, VAN WEE, 2004, KWAN, 1998, VAN WEE, 2016). No âmbito deste trabalho entende-se a acessibilidade como a facilidade de alcançar atividades, que é determinada pela distribuição espacial de atividades no território, pela configuração espacial e operacional da rede de transportes e pelas características pessoais de cada indivíduo (DALVI, MARTIN, 1976, HANDY, NIEMEIER, 1997, KAUFMANN, BERGMAN, *et al.*, 2004).

A acessibilidade, portanto, está intimamente relacionada aos sistemas de transportes e de uso do solo, uma vez que intervenções em ambos os sistemas podem facilitar o acesso a atividades tanto ao aproximar oportunidades da origem dos deslocamentos, quanto ao diminuir os custos para alcançar essas atividades pela rede de transportes

(KNEIB, PORTUGAL, 2017). A configuração desses sistemas também possui forte impacto sobre a mobilidade, embora este seja um conceito fundamentalmente diferente do de acessibilidade (HANDY, 2002). Enquanto acessibilidade se refere ao potencial de interação com oportunidades (HANSEN, 1959), o termo mobilidade diz respeito aos padrões de deslocamentos de fato observados (PEDRO, DA SILVA, *et al.*, 2017); padrões esses que são moldados, entre outros fatores, pela capacidade de acesso a atividades (CUI, BOISJOLY, *et al.*, 2019, KOCKELMAN, 1997).

As estimativas dos níveis de acesso a oportunidades de um indivíduo ou local podem ser feitas através de diversas medidas, sendo estas classificadas em diferentes grupos, conforme a perspectiva que adotam ao medir a acessibilidade (GEURS, VAN WEE, 2004). Dentre esses grupos, um dos mais frequentemente utilizados no planejamento urbano e de transportes é o de medidas baseadas em localidades, que se diferencia dos demais ao associar a acessibilidade a um lugar, e não a um indivíduo ou atividade (MILLER, 2007).

As medidas desse grupo atribuem a cada deslocamento potencial um fator de impedância que pode ser expresso em forma de tempo, distância, dinheiro ou alguma outra função de desutilidade, como conforto (BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, DALVI, MARTIN, 1976). Via de regra, no entanto, a maioria dos estudos que estimam a acessibilidade com essas medidas leva apenas o tempo de viagem em consideração (EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016, VENTER, 2016).

O custo monetário, em particular, é especialmente relevante para análises de políticas de transporte por diferentes razões. Primeiramente, porque muitas pessoas têm dificuldade de arcar com os custos dos deslocamentos cotidianos nos grandes centros urbanos, sejam estes tidos como desenvolvidos ou em desenvolvimento (VENTER, 2011). Em segundo lugar, mais especificamente para análises relacionadas ao transporte público, porque o preço de uma viagem pode variar conforme fatores como a linha, o modo de transporte e o operador do serviço, não sendo, portanto, linearmente correlacionado ao usualmente representado tempo de viagem (VENTER, 2016). E porque, no caso em que serviços similares são oferecidos a preços distintos, indivíduos de baixa renda podem acabar relegados a viagens mais baratas e potencialmente menos confiáveis (CONWAY, STEWART, 2019).

Consequentemente, custos monetários vêm recebendo cada vez mais atenção na literatura de acessibilidade (BITTENCOURT, GIANNOTTI, 2021, GUZMAN, OVIEDO, 2018, LIU, KWAN, 2020, OVIEDO, SCHOLL, *et al.*, 2019). A maior parte dos estudos que consideram esses custos se concentra em como introduzi-los a medidas de acessibilidade para posteriormente diagnosticar desigualdades relacionadas aos transportes (e.g. BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016, MA, MASOUD, *et al.*, 2017). Até o momento, no entanto, nenhum trabalho investigou de que forma a incorporação simultânea de restrições de tempo de viagem e de custo monetário a uma medida de acessibilidade afeta os resultados e conclusões derivadas de análises de acessibilidade e equidade nos transportes; ou seja, como os resultados de análises que consideram estes custos simultaneamente se diferenciam daqueles que provêm de análises focadas exclusivamente em tempos de viagem. Este trabalho visa preencher essa lacuna.

Esta dissertação se apoia sobre um estudo de caso que analisa a distribuição da acessibilidade ao emprego por transporte público na cidade do Rio de Janeiro. O trabalho é a atividade socioeconômica mais frequentemente considerada em análises de acessibilidade (KELOBONYE, MCCARNEY, *et al.*, 2019), uma vez que a garantia de acesso a postos de trabalho é primordial para que indivíduos não sejam socialmente excluídos, por promover a capacidade financeira necessária para suportar outros aspectos de sua vida (ALLEN, FARBER, 2019). O transporte público, por sua vez, promove a inclusão social daqueles que não possuem acesso a um veículo individual motorizado (LUCAS, 2006), o que o torna um equipamento essencial para grupos socioeconomicamente vulneráveis. Cerca de metade dos deslocamentos realizados no Rio de Janeiro são realizados por transporte público, cidade onde gasta-se também, em média, quase uma hora para ir de casa ao trabalho todos os dias (ITDP BRASIL, 2020). Neste contexto, portanto, justifica-se uma análise de acessibilidade sob os moldes postos.

O Rio tem recebido, recentemente, bastante atenção de pesquisadores preocupados com questões relacionadas à equidade e à justiça em seus sistemas de transportes e uso do solo (e.g. BARBOZA, CARNEIRO, *et al.*, 2021, CARNEIRO, TOLEDO, *et al.*, 2019, PEREIRA, 2018, PEREIRA, BANISTER, *et al.*, 2019). Ainda assim, até então nenhum trabalho que tenha a cidade como pano de fundo levou em consideração restrições monetárias em suas estimativas de acessibilidade. A introdução do custo monetário a

uma análise de acessibilidade neste contexto, portanto, pode ajudar a destacar e revelar desigualdades de acesso a oportunidades até então não identificadas em estudos prévios.

1.1 Problema de pesquisa, hipóteses e premissas

Frente ao contexto apresentado, esta dissertação examina o seguinte problema de pesquisa:

- A incorporação simultânea de restrições de custo monetário e de tempo de viagem a uma medida de acessibilidade afeta os resultados e conclusões derivadas de análises de acessibilidade e equidade nos transportes? Caso positivo, como?

A partir deste problema, tem-se como hipótese básica:

- Por se tratarem de elementos não necessariamente correlacionados, a inclusão simultânea do custo monetário e do tempo de viagem nestas medidas afeta os resultados e conclusões derivadas de análises de acessibilidade e equidade.

De forma semelhante, tem-se como hipótese secundária:

- Restrições mais rígidas de custo monetário não necessariamente tornam a distribuição da acessibilidade mais ou menos equitativa; o impacto sobre essa distribuição depende da combinação de restrições de tempo de viagem e de custo monetário considerada, cujo efeito depende, por sua vez, de elementos como políticas tarifárias, características operacionais e espaciais da rede de transporte público, e da co-distribuição espacial da população e das oportunidades.

Essas hipóteses se apoiam sobre as seguintes premissas:

- Os níveis de acessibilidade atribuídos a um local dependem dos custos necessários para alcançar as oportunidades distribuídas no território.
- De forma geral, quanto maiores esses custos, menores os níveis de acessibilidade.

1.2 Objetivos

Alinhado ao problema destacado, configura-se como objetivo primário da pesquisa:

- Avaliar como a incorporação simultânea de restrições de custo monetário e de tempo de viagem a uma medida de acessibilidade impacta análises de equidade baseadas na distribuição da acessibilidade.

O objetivo secundário, complementar ao primário, trata-se de:

- Identificar como a incorporação simultânea do custo monetário e do tempo de viagem a uma estimativa de acessibilidade pode complementar o diagnóstico das desigualdades de acesso a oportunidades no Rio de Janeiro, assim como as propostas de políticas que derivam dele.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O segundo capítulo, que segue a introdução, apresenta uma revisão da literatura abrangendo a relação entre os conceitos de equidade e acessibilidade, a definição e categorização de medidas de acessibilidade e uma discussão sobre os estudos que incorporaram o custo monetário a essas medidas.

O terceiro capítulo faz uma caracterização da distribuição espacial da população e das oportunidades de emprego no Rio de Janeiro, bem como do arranjo institucional, operacional e espacial do seu sistema de transportes.

O quarto descreve o método utilizado para estimar os níveis de acessibilidade e desigualdade nesta pesquisa, comparando as diversas escolhas metodológicas feitas ao longo do trabalho com boas práticas recomendadas na literatura, para que no quinto capítulo sejam exibidos e discutidos os resultados do estudo de caso.

As considerações finais são feitas no sexto capítulo. Nele são destacadas as contribuições deste trabalho, tanto as de natureza metodológica quanto as relevantes para o diagnóstico das desigualdades de acesso a oportunidades no Rio. Também são apresentadas as limitações da pesquisa e feitas recomendações para estudos futuros.

2 Revisão da literatura

A revisão de literatura conduzida neste capítulo tem como objetivo apresentar conceitos e métodos utilizados em estudos anteriores que sejam importantes para o desenvolvimento e compreensão desta dissertação. Em primeiro lugar, justifica-se o porquê de olhar para a acessibilidade ao discutir questões de equidade e justiça social, bem como quais princípios teóricos devem guiar avaliações de políticas de transporte para que elas sejam consideradas justas. São esses princípios que embasam a escolha da medida de desigualdade utilizada neste trabalho, detalhada na Seção 4.3.

Como essas avaliações pressupõem o uso de medidas de acessibilidade, em seguida é feita uma discussão buscando apresentar as vantagens e desvantagens de diversos tipos de medidas, a partir de critérios como robustez teórica e facilidade de operacionalização e comunicação. Essa revisão embasa a escolha metodológica pelo uso de uma medida baseada em localidades, em particular uma medida de oportunidades cumulativas, no estudo de caso.

Em seguida, apresentam-se alguns argumentos justificando por que estimativas de acessibilidade devem considerar restrições monetárias. Também são apresentados estudos que incorporaram esses custos a medidas de acessibilidade, bem como as vantagens e desvantagens das abordagens utilizadas por cada um deles, do que se delimita a lacuna da literatura a ser preenchida e se identificam boas práticas a serem implementadas no estudo de caso.

2.1 Acessibilidade e equidade

Discussões sobre a equidade de sistemas e serviços de transportes estão cada vez mais presentes, hoje, no planejamento urbano e de transportes (KARNER, NIEMEIER, 2013, MANAUGH, BADAMI, *et al.*, 2015). Neste contexto, entende-se que a equidade está relacionada à justiça distributiva de benefícios e malefícios de políticas de transporte entre os membros de uma sociedade (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017). A partir desta caracterização podem ser identificados três componentes-chave da equidade nos transportes: os custos e benefícios distribuídos; os princípios que determinam se uma distribuição é justa e socialmente aceita; e os grupos

populacionais para quais os benefícios são distribuídos (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017).

Estudos recentes buscam determinar quais benefícios de políticas de transporte devem ser considerados em análises de equidade. Análises de custo-benefício, por exemplo, que via de regra ignoram questões de equidade, frequentemente empregam o valor monetário de reduções de tempo de viagem na avaliação de projetos (LUCAS, VAN WEE, *et al.*, 2016, MARTENS, DI CIOMMO, 2017). Seus resultados, no entanto, estão sujeitos a vieses que tendem a exacerbar as desigualdades relacionadas aos transportes, uma vez que os ganhos monetários associados às reduções de tempos de viagem são calculados a partir da renda dos indivíduos, consequentemente avaliando de forma mais positiva projetos que beneficiem as classes mais abastadas (GOODWIN, 1974, MARTENS, DI CIOMMO, 2017). Economias de tempo de viagem, portanto, não devem ser tratadas como benefícios de políticas de transporte em análises de equidade.

Alguns trabalhos utilizam os padrões de viagem para descrever e diagnosticar desigualdades (e.g. IGLESIAS, GIRALDEZ, *et al.*, 2019, SHIRMOHAMMADLI, LOUEN, *et al.*, 2016), sob a justificativa de que eles descrevem os níveis de participação social praticados na sociedade (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017). Não há como definir, no entanto, se esses padrões são determinados por escolhas voluntárias ou por condições às quais os indivíduos são involuntariamente expostos, e nem como precisar se as necessidades particulares de cada indivíduo são satisfeitas pelo conjunto de deslocamentos realizados (MARTENS, 2019, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017).

Como alternativa, portanto, diversos autores sugerem que os efeitos distributivos de políticas de transporte devem ser avaliados pelos níveis de acessibilidade que elas promovem (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017, LUCAS, VAN WEE, *et al.*, 2016, MARTENS, 2012, MARTENS, DI CIOMMO, 2017, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, GEURS, 2011), argumentando que o principal objetivo dos sistemas de transportes é promover o acesso a atividades valorizadas pela população (VAN WEE, 2016). A importância da acessibilidade não está apenas no seu valor instrumental de permitir que uma pessoa participe de uma determinada atividade, mas também no fato de tornar possível que esta pessoa opte por esta atividade dentre um conjunto maior de oportunidades (MARTENS, 2019). A acessibilidade, portanto, está ligada à noção de

liberdade de escolha e a maiores níveis de satisfação pessoal (MARTENS, 2012), e é condição necessária, embora não suficiente, para que as pessoas satisfaçam necessidades básicas (PEREIRA, KARNER, 2021) e para a promoção de uma sociedade mais equitativa (VAN WEE, GEURS, 2011).

Como essa acessibilidade deve ser, então, distribuída entre a população? A resposta varia conforme os princípios adotados para julgar uma dada distribuição como justa, o que leva pesquisadores a investigar sobre quais teorias de justiça devem se apoiar análises de transportes e acessibilidade (MARTENS, 2016, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017). A literatura geralmente articula a diferença entre perspectivas apoiadas sobre a teoria utilitarista e aquelas que se baseiam em abordagens igualitaristas e/ou suficientaristas (PEREIRA, KARNER, 2021, VAN WEE, GEURS, 2011).

O utilitarismo estabelece que uma política é moralmente justa quando a soma total de seus benefícios é maior do que a de seus custos (DRIVER, 2014), e é a perspectiva moral subjacente às já mencionadas análises de custo-benefício (VAN WEE, GEURS, 2011). Análises utilitaristas, portanto, não valorizam a acessibilidade como um fim, mas sim a utilidade, como percebida pelos indivíduos, das viagens que os conectam a atividades (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017). Esta perspectiva, no entanto, não é adequada para análises de equidade, pois estimam a utilidade de uma dada política segundo a propensão dos indivíduos a pagar por deslocamentos que os permitam alcançar atividades que valorizem: políticas que tragam maiores retornos às classes mais altas são vistas como benéficas, por maximizarem a utilidade total ao privilegiar aqueles que estão mais propensos a pagar por economias de tempo de viagem e cujo tempo é tido como mais valioso do que o de seus concidadãos de classes mais baixas (MARTENS, 2019, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, GEURS, 2011).

Uma perspectiva mais promissora se baseia no igualitarismo (LUCAS, VAN WEE, *et al.*, 2016, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017). Esta perspectiva, conforme formulação adaptada ao contexto do planejamento de transportes, valoriza a acessibilidade em si como um bem primário que deve ser distribuído de forma a diminuir desigualdades de oportunidades (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, GEURS, 2011). Sob esta perspectiva, portanto, uma política é considerada justa caso ela aumente os níveis de acessibilidade de populações vulneráveis e,

consequentemente, diminua a desigualdade de acesso a oportunidades entre diferentes grupos socioeconômicos (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017).

O igualitarismo, no entanto, foca apenas na diferença de acesso a oportunidades entre diferentes indivíduos e grupos, e não nos níveis absolutos de acessibilidade que cada indivíduo detém. O suficientarismo, por sua vez, estabelece que todos devem ter condições mínimas de acessibilidade a determinadas atividades essenciais, e políticas justas, portanto, garantem que essas condições sejam satisfeitas (LUCAS, VAN WEE, *et al.*, 2016). Embora ainda não haja um método amplamente utilizado na definição desses patamares mínimos, pode-se afirmar que sua identificação depende de um conjunto de características econômicas, sociais e culturais próprias a cada área de estudo (MARTENS, 2016, PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017).

O suficientarismo, dessa forma, é geralmente apresentado como uma perspectiva complementar à igualitarista. É importante mencionar, no entanto, que há na literatura autores que defendem que questões de equidade devam ser abordadas sob uma ótica estritamente suficientarista, ignorando o igualitarismo por completo (e.g. MARTENS, 2016, NAHMIAS-BIRAN, MARTENS, *et al.*, 2017). Para esses autores, são os níveis absolutos de acessibilidade das pessoas que importam, e não a desigualdade de acesso a oportunidades entre elas. Tal desigualdade, porém, se configura como um dos temas centrais desta dissertação, logo o trabalho desses autores não é extensivamente coberto nesta revisão.

Adotar o igualitarismo e o suficientarismo como perspectivas complementares nos permite formular que políticas de transporte devem visar a diminuição da desigualdade de acesso a oportunidades entre grupos socioeconômicos distintos, e, além disso, também garantir que indivíduos vulneráveis tenham condições básicas de acesso a atividades essenciais (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, 2016). Esta formulação compreende os três componentes-chaves da equidade dos transportes, como caracterizada por Di Ciommo e Shiftan (2017): os benefícios a serem distribuídos (a acessibilidade); os princípios que determinam como distribuí-los (o igualitarismo e o suficientarismo); e os grupos populacionais que devem ser privilegiados (grupos socioeconomicamente vulneráveis e privados de acesso a atividades essenciais). Ela, contudo, não especifica como devem ser estimados os níveis de acessibilidade, ficando

à cargo dos pesquisadores determinar quais medidas são mais adequadas a cada situação.

2.2 Medidas de acessibilidade

Medidas de acessibilidade vêm sendo há muito tempo utilizadas por pesquisadores como ferramentas para avaliar o quão equitativo é o acesso a serviços e bens públicos (NEUTENS, SCHWANEN, *et al.*, 2010). A busca por estimativas de acessibilidade facilmente comunicáveis, pouco computacionalmente intensivas e metodologicamente robustas, no entanto, levou ao desenvolvimento de um sem-número de medidas (PÁEZ, SCOTT, *et al.*, 2012). Consequentemente, diversos estudos se empenharam em classificá-las segundo diferentes critérios, apresentando também suas vantagens, desvantagens e características individuais (e.g. GEURS, VAN WEE, 2004, HANDY, NIEMEIER, 1997, NEUTENS, SCHWANEN, *et al.*, 2010, PÁEZ, SCOTT, *et al.*, 2012).

A classificação mais frequentemente empregada na literatura separa essas medidas em quatro diferentes grupos: as baseadas em infraestrutura, em utilidade, em pessoas e em localidades (GEURS, VAN WEE, 2004). Medidas baseadas em infraestrutura avaliam a performance da infraestrutura de transporte existente e são frequentemente expressas pelo nível de serviço de um determinado equipamento. Alguns exemplos são o nível de congestionamento e a velocidade média em uma via em um determinado horário do dia. Essas medidas, porém, ignoram os efeitos do uso do solo sobre a acessibilidade, logo não são apropriadas para análises de equidade (GEURS, VAN WEE, 2004, MARTENS, GOLUB, 2012).

Medidas baseadas em utilidade, por sua vez, interpretam a acessibilidade como a satisfação que um indivíduo deriva de um deslocamento a uma determinada atividade de desejo. Esta satisfação varia conforme, entre outros fatores, o modo utilizado, o horário em que a viagem é realizada e as características socioeconômicas do indivíduo que realiza esse deslocamento, e é expressa em termos monetários para que os componentes anteriormente citados possam ser comparados e agregados em uma mesma medida (NIEMEIER, 1997). Uma das principais vantagens desse grupo de medidas é que elas são teoricamente robustas - ou seja, são sensíveis a características dos sistemas de transportes e uso do solo, a variações temporais na oferta de serviços e oportunidades e

a características particulares de cada indivíduo (GEURS, VAN WEE, 2004). No entanto, são de difícil operacionalização, por necessitarem de uma grande quantidade de dados desagregados a níveis individuais, e de também difícil comunicação e interpretação, por se basearem em modelos econométricos e estatísticos que precisam ser previamente explicados a planejadores e tomadores de decisão (e.g. DE JONG, DALY, *et al.*, 2007).

Adicionalmente, trabalhos recentes argumentam que medidas baseadas em utilidade não são adequadas para análises de equidade nos transportes. Como apresentado na seção anterior, uma abordagem igualitarista ao problema da desigualdade nos transportes implica em valorizar a acessibilidade em si como um bem a ser distribuído entre a população, e não a utilidade que resulta do acesso a determinadas oportunidades (PEREIRA, SCHWANEN, *et al.*, 2017, VAN WEE, GEURS, 2011). Ainda, o enfoque na satisfação que um indivíduo obtém ao alcançar uma determinada oportunidade traz à tona dois problemas. Primeiramente, pode-se argumentar que a satisfação derivada de uma viagem que torna menos atrativo, ou mais perigoso, o deslocamento de pessoas mais vulneráveis não deveria ser contabilizada (MARTENS, GOLUB, 2012); por exemplo, políticas que privilegiam usuários de transporte individual motorizado ao aumentar limites de velocidade, e que põem em risco usuários de transporte ativo e público, não devem ser vistas como benéficas, mesmo que levem a níveis médios de satisfação maior do que outras alternativas. Também deve-se levar em consideração que pessoas estão sujeitas a diferentes condições de vida, e que isso pode alterar o nível de satisfação que derivam de viagens que se dão em condições similares: uma pessoa de alta renda, por exemplo, acostumada a deslocamentos em automóveis particulares, pode obter menor satisfação ao realizar uma viagem de transporte público do que seus concidadãos de baixa renda, já acostumados a modos coletivos - isso não quer dizer, no entanto, que políticas de transporte, buscando maximizar a utilidade total da sociedade, devam prover melhores condições de acesso ao transporte, público ou privado, para aqueles já historicamente favorecidos (MARTENS, 2019, MARTENS, GOLUB, 2012).

As duas categorias de medidas de acessibilidade mais amplamente utilizadas em estudos de equidade nos transportes, conseqüentemente, são as baseadas em pessoas e localidades. Medidas baseadas em pessoas se caracterizam por estimar a acessibilidade a partir da perspectiva de indivíduos que estão sujeitos a diferentes restrições espaciais, temporais e pessoais ao longo de um dia (KWAN, 1998, MILLER, 2007). Essas medidas usam prismas de espaço-tempo para descrever os conjuntos de atividades que

podem ser realizadas dentro do “orçamento temporal” de cada pessoa (HÄGERSTRAAND, 1970), que pode variar conforme seu gênero, raça, ocupação, etc.

A principal vantagem deste grupo de medidas está em sua robustez teórica, que provém da estimativa dos níveis de acessibilidade de forma altamente desagregada e que, conseqüentemente, as torna altamente sensíveis a características particulares de cada indivíduo (GEURS, VAN WEE, 2004). Esta abordagem desagregada, no entanto, requer uma grande quantidade de dados e implica em operações computacionalmente muito intensivas, o que acaba restringindo aplicações dessas medidas a regiões e parcelas da população relativamente pequenas (e.g. KWAN, 1998, NEUTENS, SCHWANEN, *et al.*, 2010).

Medidas baseadas em localidades, por sua vez, associam a acessibilidade a um lugar, e não a uma pessoa (MILLER, 2007, p. 200). Esse é o caso, por exemplo, de indicadores que estimam a acessibilidade como a soma de atividades que podem ser alcançadas a partir de uma certa origem em até um determinado tempo de viagem. Essas medidas, portanto, precisam de dados menos desagregados (a nível de unidade espacial, e não de indivíduo) e requerem menor capacidade computacional do que medidas baseadas em pessoas, o que as torna mais populares entre estudos de planejamento urbano e de transportes (GEURS, VAN WEE, 2004).

Por essas características, optou-se por utilizar uma medida baseada em localidades no estudo de caso conduzido nesta dissertação. Análises que dependam dessas medidas, no entanto, incorrem na chamada falácia ecológica (PEREIRA, BANISTER, *et al.*, 2019) - ou seja, partem do pressuposto que todos os indivíduos dentro de uma mesma unidade espacial possuem as mesmas características, como, por exemplo, o nível de renda. Embora possa ser minimizado com o advento de grades espaciais de alta resolução, este problema está fundamentalmente associado a esse tipo de medidas. Conseqüentemente, elas são tidas como teoricamente menos robustas do que as baseadas em pessoas (GEURS, VAN WEE, 2004).

Medidas baseadas em localidades associam a cada deslocamento um custo, usualmente expresso pelo tempo de viagem. Os dois tipos de indicadores mais comuns, medidas de oportunidades cumulativas e medidas gravitacionais, se diferenciam pela forma como definem a função de desutilidade que caracteriza este custo. Medidas de oportunidades

cumulativas estimam quantas oportunidades podem ser alcançadas a partir de uma origem por viagens que não superem um valor limite de custo, e se destacam por serem de especialmente fácil operacionalização, comunicação e interpretação (GEURS, VAN WEE, 2004). Este valor limite, no entanto, é frequentemente estabelecido de forma arbitrária e pouco criteriosa, podendo impactar de forma significativa estimativas de acessibilidade e análises de equidade que delas derivem (PEREIRA, 2019, STĘPNIAK, PRITCHARD, *et al.*, 2019). Outra desvantagem das medidas de oportunidades cumulativas é que elas estabelecem que todas as oportunidades são igualmente alcançáveis e desejadas, desde que acessíveis a custos menores do que o limite.

Medidas gravitacionais, por sua vez, estabelecem que quanto maior o custo para acessar uma oportunidade, menor é a acessibilidade que dela se obtém (HANDY, NIEMEIER, 1997). Nesse caso, a função utilizada para representar a impedância de uma viagem pode assumir diferentes formas, sendo algumas das mais comuns as de decaimento exponencial, logístico e gaussiano. A principal vantagem das medidas gravitacionais frente às de oportunidades cumulativas está no fato de incorporarem a percepção de que oportunidades que exigem grandes custos para serem alcançadas são menos acessíveis do que as que exigem menores custos para tal (GEURS, VAN WEE, 2004). Por outro lado, são mais difíceis de comunicar e interpretar, porque seu resultado não representa o total de oportunidades que pode ser alcançado, e sim o somatório de oportunidades ponderadas pela função de impedância (*ibid*). Adicionalmente, como essas funções são compostas por parâmetros que precisam ser calibrados para o contexto em que são aplicadas, medidas gravitacionais também requerem maior disponibilidade de dados do que as de oportunidades cumulativas (HANDY, NIEMEIER, 1997). E, ainda, como o método utilizado nesta calibração pode variar tanto pela forma da função de decaimento quanto pelos dados disponíveis, trabalhos que utilizam essas medidas são mais difíceis de serem replicados em contextos diferentes do que o de sua aplicação original, o que pode levar a arbitrariedades relacionadas a esses parâmetros e sua calibração (PEREIRA, 2019).

Um terceiro indicador que pertence ao grupo de medidas baseadas em localidades são as medidas competitivas. Essas medidas não apenas consideram quantas oportunidades podem ser alcançadas a partir de uma origem, mas também quantas pessoas conseguem acessar cada uma dessas oportunidades e, conseqüentemente, competir pelo seu uso (SHEN, 1998). São, portanto, mais adequadas para estimar os níveis de acessibilidade a

atividades que possuem limitações de capacidade, como empregos e matrículas escolares, por exemplo, mas não são tão populares quanto as duas categorias anteriormente descritas por serem de mais difícil operacionalização e, principalmente, comunicação (GEURS, VAN WEE, 2004).

Independente da categoria a que pertençam, medidas baseadas em localidades são frequentemente operacionalizadas de forma que apenas o tempo de viagem seja representado em suas funções de impedância (BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016, VENTER, 2016). Ainda assim, muitos trabalhos advogam que estimativas de acessibilidade devem idealmente levar em consideração outras características de um deslocamento, como seu valor monetário, condições de conforto, previsibilidade, entre outras (ARBEX, CUNHA, 2020, BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, DALVI, MARTIN, 1976, HANDY, NIEMEIER, 1997), e vem crescendo o número de trabalhos que incorporam custos monetários a medidas baseadas em localidades. A próxima seção destaca a importância de se considerar a dimensão do custo monetário em análises de acessibilidade e equidade, e apresenta uma revisão da literatura sobre medidas de acessibilidade que consideram custos monetários.

2.3 O custo monetário em medidas baseadas em localidades

Medidas baseadas em localidades são amplamente utilizadas por estudos de planejamento urbano e de transportes, mas raramente incorporam custos relacionados ao valor monetário de uma viagem. Esse custo é especialmente relevante para análises de sistemas de transporte público, pois o preço de uma viagem pode variar conforme a linha utilizada, o modo de transporte e o operador do serviço, entre outros fatores. Questões relacionadas à equidade desses sistemas surgem quando, por exemplo, a tarifa de um determinado modo o torna proibitivo a pessoas de baixa renda, ou quando diversas linhas oferecem serviços similares a preços diferentes, potencialmente relegando indivíduos pobres a deslocamentos mais baratos, porém menos confortáveis, confiáveis ou seguros (CONWAY, STEWART, 2019). Ainda, este custo não é necessariamente correlacionado ao tempo de viagem, impactando análises de equidade de maneira possivelmente imprevisível (VENTER, 2016).

Adicionalmente, incorporar custos monetários a uma medida de acessibilidade aumenta sua aderência a dois dos critérios teóricos que medidas de acessibilidade devem buscar seguir, de acordo com Geurs e van Wee (2004): serem sensíveis a necessidades e características particulares de cada indivíduo (como o orçamento destinado ao transporte) e a mudanças no sistema de transportes (pois linhas e modos também podem ser descritos segundo os custos associadas a eles). Este ponto é particularmente relevante para medidas baseadas em localidades, que, como apresentado na seção anterior, são tidas como menos teoricamente robustas do que medidas baseadas em pessoas.

Esses são alguns dos argumentos levantados por trabalhos que incorporam custos monetários a medidas de acessibilidade baseadas em localidades (EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016). A maior parte desses estudos se preocupa em como tais custos devem ser incorporados a essas medidas (MA, MASOUD, *et al.*, 2017, RODRIGUEZ, PERALTA-QUIRÓS, *et al.*, 2017) e em como esses custos ajudam a diagnosticar desigualdades em termos de acesso a oportunidades (BITTENCOURT, GIANNOTTI, 2021, BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, GUZMAN, OVIEDO, 2018, LIU, KWAN, 2020, VAN DIJK, KRYGSMAN, *et al.*, 2015). Outros também incorporam restrições de custo monetário para investigar relações entre acessibilidade e a percepção de bem-estar em diferentes esferas da vida (LIONJANGA, VENTER, 2018) e propõem um algoritmo de roteamento multimodal que leva em consideração restrições de custo monetário (CONWAY, STEWART, 2019). Cabe notar que a maioria desses trabalhos se concentra em cidades do Sul Global, especialmente na América do Sul (BOCAREJO, PORTILLA, *et al.*, 2014, GUZMAN, OVIEDO, 2018) e na África do Sul (LIONJANGA, VENTER, 2018, VENTER, 2016), provavelmente porque o debate relacionado às imposições econômicas e financeiras do transporte público sobre populações vulneráveis possui mais destaque neste contexto do que em países do Norte Global. Apesar da crescente preocupação com o efeito de restrições monetárias sobre análises de acessibilidade, até então nenhum estudo investigou como a incorporação simultânea de restrições de custos monetários e de tempo de viagem afeta análises de equidade em acessibilidade. Em outras palavras, como a prática comumente utilizada na literatura de ignorar custos monetários em estimativas de acessibilidade pode enviesar o resultado de análises de equidade e conclusões que delas derivem. Este trabalho busca preencher esta lacuna.

Os trabalhos que introduziram custos monetários a medidas baseadas em localidades também se distinguem quanto à abordagem utilizada para operacionalizar as medidas. A maior parte deles faz uso de uma função de custo generalizado, em que um valor monetário é associado ao tempo para agregar tempo e dinheiro em um único custo total. Este valor do tempo (VDT) pode ser definido como constante para toda a área de estudo (EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016, MA, MASOUD, *et al.*, 2017) ou como uma função de características socioeconômicas que podem variar espacialmente (OVIEDO, SCHOLL, *et al.*, 2019, VENTER, 2016).

Funções de custo generalizado, no entanto, apresentam algumas desvantagens. Em primeiro lugar, a agregação de tempo e dinheiro em um mesmo custo torna a interpretação e comunicação de resultados mais complexa. Também não há um método padrão de como estimar este VDT, o que leva a tomadas de decisão arbitrárias e prejudica a comparação dos resultados de diferentes estudos. Mais importante, contudo, é o fato de que estimativas de VDT estão sujeitas a limitações que podem torná-las inapropriadas para o uso em análises de equidade (MARTENS, DI CIOMMO, 2017). Pode-se argumentar, por exemplo, que um VDT fixo produz estimativas de acessibilidade pouco precisas, por não levar em consideração diferenças na percepção do valor do tempo entre diferentes grupos socioeconômicos. Por outro lado, a utilização de VDTs que variam conforme a renda do indivíduo ou segundo sua disposição a pagar por economias de tempo de viagem implica no pressuposto problemático de que o tempo de pessoas ricas vale mais do que o de pessoas pobres. Neste caso, avaliações de equidade podem favorecer grupos historicamente privilegiados (GOODWIN, 1974), em viés análogo ao introduzido por análises de custo benefício.

Uma alternativa às funções de custo generalizado consiste no uso de duas funções de impedância distintas, uma relacionada ao tempo de viagem e outra ao custo monetário. Bittencourt e Giannotti (2021), Conway e Stewart (2019) e Rodriguez *et al.* (2017) utilizam esta abordagem ao estimar os níveis de acessibilidade usando medidas de oportunidades cumulativas em que são estabelecidos valores limites tanto para a duração quanto para o valor monetário dos deslocamentos. Neste caso, limites de custo monetário podem ser definidos, de forma similar a como hoje são estabelecidos limites de tempo de viagem, de acordo com gastos médios com transportes na região ou segundo valores tidos como aceitáveis, dadas as restrições orçamentárias da população. Esta forma de incorporar restrições de custo monetário a medidas de acessibilidade é

relativamente nova e tem recebido menos atenção do que as funções de custo generalizado até o momento, porém pode se mostrar vantajosa porque evita a difícil tarefa de determinar um VDT justo, e preserva a fácil comunicação e interpretação dos resultados. Por estas razões, esta abordagem será utilizada no estudo de caso descrito nos próximos capítulos.

A revisão conduzida neste capítulo apresentou alguns dos conceitos fundamentais para a compreensão desta dissertação. Em um primeiro momento, por que a acessibilidade é usada em análises de equidades nos transportes. Em um segundo, quais são as medidas de acessibilidade mais adequadas para este uso, e, dentre elas, quais são as mais utilizadas. Por fim, por que deve-se prestar atenção aos custos monetários em análises de equidade, e como estes custos foram até então incorporados a medidas de acessibilidade. Os insumos provenientes desta revisão são também de grande valia para embasar escolhas metodológicas feitas no estudo de caso a seguir. O próximo capítulo apresenta uma breve caracterização da área que serve de pano de fundo para este estudo, a cidade do Rio de Janeiro, para que em seguida sejam descritos com mais detalhes os métodos utilizados.

3 Caracterização da área de estudo

Este capítulo tem por objetivo destacar características do Rio de Janeiro que exerçam influência na distribuição espacial da acessibilidade ao emprego no município. Em um primeiro momento são apresentadas características morfológicas que conformam o desenvolvimento urbano da cidade, o que se reflete na distribuição espacial de variáveis socioeconômicas e na configuração espacial da infraestrutura de transportes. Em seguida são expostos os arranjos institucionais que exercem impacto sobre a operação do sistema de transportes da cidade. Por fim são apresentadas informações relativas às tarifas dos diferentes modos que rodam no município - um dos principais objetos de estudo da dissertação, que se presta a avaliar o impacto de custos monetários sobre estimativas de acessibilidade e análises de equidade.

Com mais de 6 milhões de habitantes, o Rio de Janeiro é a segunda cidade mais populosa do Brasil e uma das maiores cidades da América Latina. Embora seja um dos municípios mais ricos do país (IBGE, 2020), é também um dos mais desiguais, com um Índice de Gini de renda domiciliar per capita de 0,6391 em 2010 (DATASUS, [S.d.]). Esta desigualdade também se reproduz no que tange ao acesso a oportunidades em seu território (CARNEIRO, TOLEDO, *et al.*, 2019, LAGO, 2015, PEREIRA, 2018), que por sua vez é resultado tanto da distribuição espacial de oportunidades e pessoas na cidade quanto da configuração operacional, espacial e tarifária do sistema de transporte público que nela opera.

Para melhor compreender e visualizar a atual organização espacial da população e das oportunidades de emprego no município, é útil apresentar as Áreas de Planejamento (APs), unidades territoriais estabelecidas a partir de critérios históricos, geográficos e de uso e ocupação do solo, nas quais a cidade está dividida (Figura 1). São elas a AP1, que engloba o centro histórico e empresarial da cidade; a AP2, que compreende os bairros da Zona Sul e das Regiões Administrativas da Tijuca e de Vila Isabel; a AP3, que abrange os demais bairros da Zona Norte; a AP4, que engloba as Regiões Administrativas da Barra da Tijuca, dos Recreios dos Bandeirantes e da Cidade de Deus; e a AP5, que compreende os demais bairros da Zona Oeste.

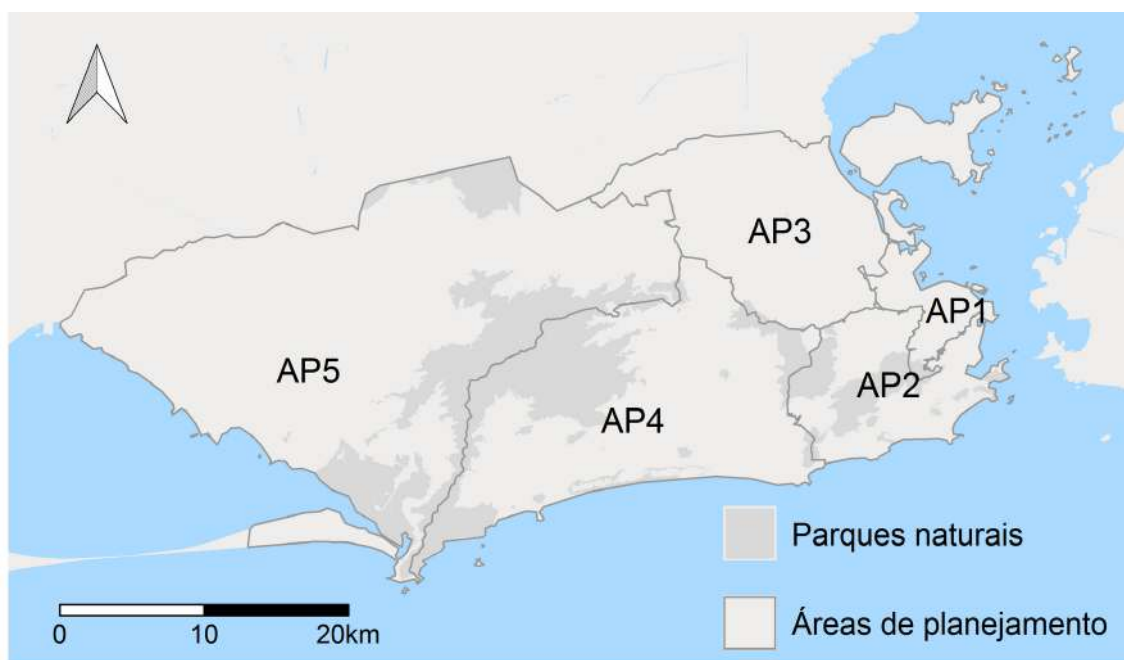


Figura 1 - Áreas de Planejamento da cidade do Rio de Janeiro. Dados originários do portal data.rio¹.

O processo de segregação espacial entre pobres e ricos no município começa a tomar forma já no fim do Século XIX e no começo do Século XX (LAGO, 2015). É neste período que as fronteiras da cidade, que até então se limitavam principalmente à área que hoje engloba o centro histórico e empresarial da cidade, na AP1, começam a se expandir em direção aos bairros da Zona Sul, da Tijuca e de Vila Isabel, na AP2, em um movimentado limitado às classes socioeconômicas mais altas. As populações mais pobres inicialmente continuam concentradas na região central da cidade, porém passam a ser deslocadas, por pressões decorrentes do capital imobiliário e de serviços urbanos, em direção ao subúrbio, na AP3, às periferias mais distantes, na Baixada Fluminense e na Zona Oeste, e a áreas que não interessavam à indústria imobiliária por decorrência de sua topografia, as favelas. A Barra da Tijuca, na AP4, é incorporada à malha urbana na década de 1970, e passa a ser a nova fronteira de expansão do capital imobiliário, por se tratar de uma área até então inexplorada por essa indústria. Ao mesmo tempo, políticas de remoção de favelas na Zona Sul passam a limitar o acesso de populações pobres às áreas mais abastadas e com maior provisão de serviços na cidade. As famílias removidas são então deslocadas em direção a favelas nas periferias e a loteamentos populares na Zona Oeste, na AP5.

1 Disponíveis em <https://www.data.rio/datasets/limite-ap> e <https://www.data.rio/datasets/areas-protegidas>.

O padrão de segregação na cidade, desde então, se reproduz a partir de pressões do capital imobiliário e de políticas urbanas estabelecidas pelos governos municipal e estadual. O centro da cidade passa a se firmar cada vez mais como uma centralidade financeira e empresarial. Os bairros da Zona Sul e da Tijuca passam por processos de densificação, decorrentes da construção de edifícios de apartamentos que tinham como público-alvo famílias de alta renda. A Barra da Tijuca também se consolida como uma região de empreendimentos voltados para classes altas, em particular condomínios fechados munidos de muros e aparatos de segurança que segregam seus moradores dos arredores imediatos (prática cada vez mais adotada também nas demais localidades da cidade). Alguns bairros da Zona Norte também passam por processos de verticalização parecidos, mas que focam em camadas médias que passam a fugir dos bairros da AP2 por causa dos altos preços de moradia. Esses processos, por sua vez, levam a uma alta dos preços imobiliários na região, o que faz com que indivíduos que não consigam arcar com esses custos busquem moradias mais baratas na Zona Oeste, na AP5, e nos municípios da Região Metropolitana (RM). Como em um círculo vicioso, o fluxo crescente de pessoas à Zona Oeste também leva ao surgimento de empreendimentos imobiliários de maior porte na região (embora menores do que nas demais AP) e, conseqüentemente, ao aumento de preços dos imóveis, o que resulta em um fluxo ainda maior às periferias da cidade e aos demais municípios da RM. A dinâmica de urbanização da cidade, portanto, faz com que indivíduos de alta renda se concentrem em regiões próximas ao Centro e na Barra da Tijuca, e continuamente empurra os mais pobres em direção às periferias municipal e metropolitana (LAGO, 2015). Os resultados desse processo de urbanização em termos de distribuição espacial de população, renda per capita e empregos formais podem ser observados na Figura 2.

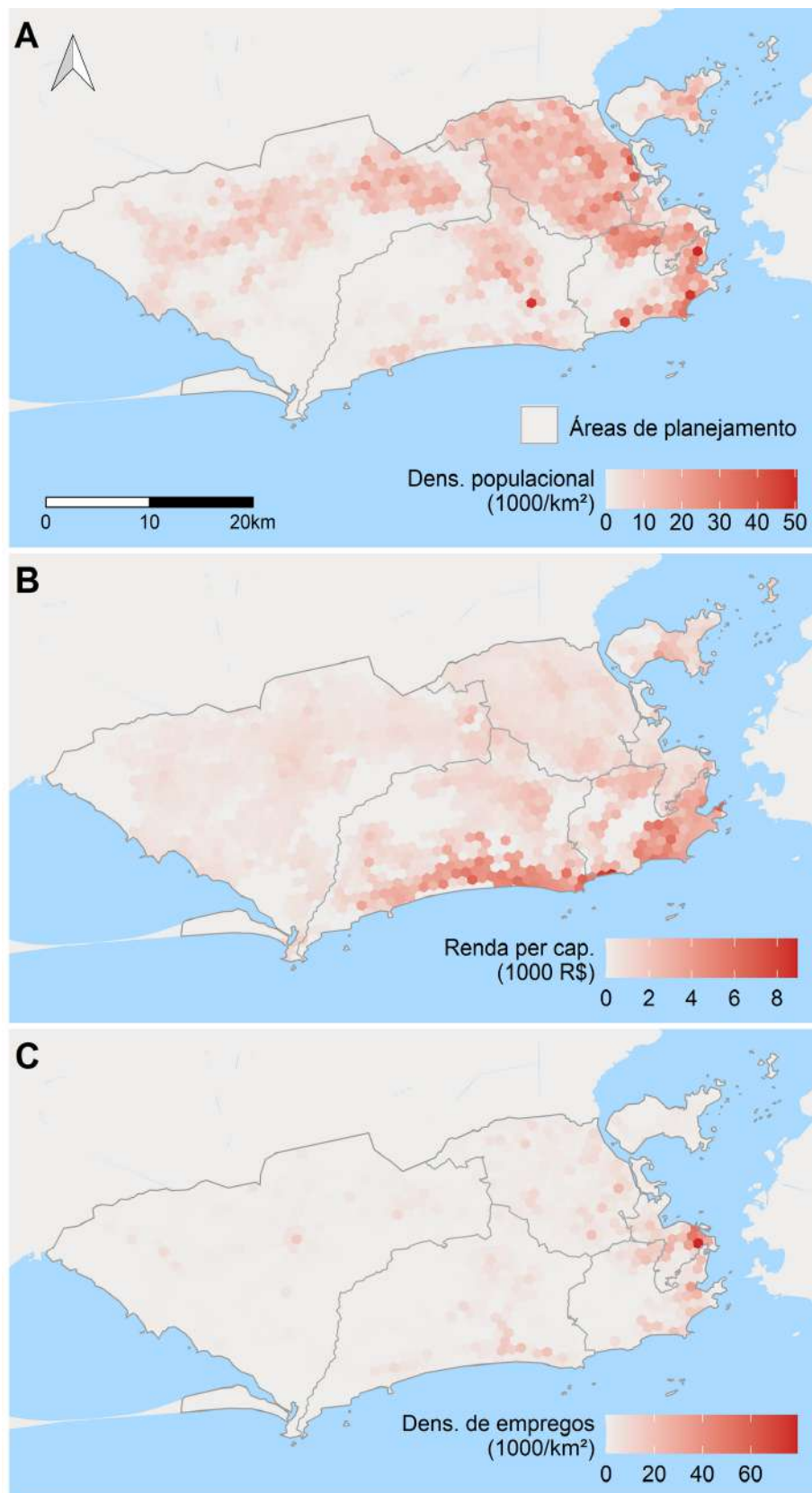


Figura 2 - Distribuição espacial da densidade populacional (A), renda per capita (B) e densidade de empregos formais (C) no Rio de Janeiro. Dados de população e renda originários do Censo (2010). Dados de emprego originários da RAIS (2017).

A densidade populacional na cidade tende a crescer em um gradiente de oeste a leste (Figura 2a), sendo maiores nas APs 1, 2 e 3, áreas de urbanização mais consolidada, do que nas 4 e 5, regiões de franca expansão do capital imobiliário. Os cidadãos de classes socioeconômicas mais altas se concentram principalmente na AP2 e na parte sul da AP4, onde estão os bairros da Zona Sul, da Barra de Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes, enquanto os de classes mais baixas se encontram nas demais APs, principalmente nas áreas mais ao norte da cidade e nos demais bairros da Zona Oeste (Figura 2b). Ao mesmo tempo, empregos formais se localizam principalmente no centro empresarial do município, na AP1, embora concentrações de empregos de menor escala também possam ser encontradas na Zona Sul, na Zona Norte e na Barra da Tijuca (Figura 2c).

Outro fato que contribui para o aumento da desigualdade de acesso a oportunidades na cidade é a configuração espacial, operacional e institucional do sistema de transporte público do município. A infraestrutura de transporte público do Rio de Janeiro é distribuída de forma que cada corredor de média e alta capacidade atende uma região da cidade, com algumas sobreposições (Figura 3). O metrô corre principalmente pelas Zonas Norte e Sul e se estende até a Barra da Tijuca, atendendo mais diretamente as classes média e alta. O trem conecta os bairros da Zona Norte e da Zona Oeste, nas AP 3 e 5, assim como outros municípios da Região Metropolitana, ao centro da cidade do Rio. Ele atende principalmente às classes média e baixa, e permite que seu usuário faça baldeação para o metrô em algumas de suas estações. Os corredores de BRT correm pelas Zonas Oeste e Norte, atendendo desde regiões mais ricas da cidade, como a Barra da Tijuca, a regiões mais pobres, como os demais bairros da Zona Oeste que compõem a AP5. Seu usuário pode fazer baldeação para o trem e o metrô em algumas estações específicas. Cabe notar, no entanto, que esses modos de média e alta capacidade são responsáveis por cerca de apenas 38% do total de passageiros transportados diariamente no município, segundo dados de 2017 (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2021): 18% pelo metrô, 12% pelo trem e 8% pelo BRT.

Outros serviços de transporte público também são ofertados no município: um sistema de veículo leve sobre trilhos (VLT), que roda na região do centro empresarial; um sistema de barcas, que liga o centro do Rio às Ilhas do Governador, de Paquetá e a Niterói, município vizinho; e linhas de vans municipais e ônibus intermunicipais, distribuídas em todo o seu território (não apresentadas no mapa). O modo mais utilizado na cidade, contudo, são os ônibus municipais.

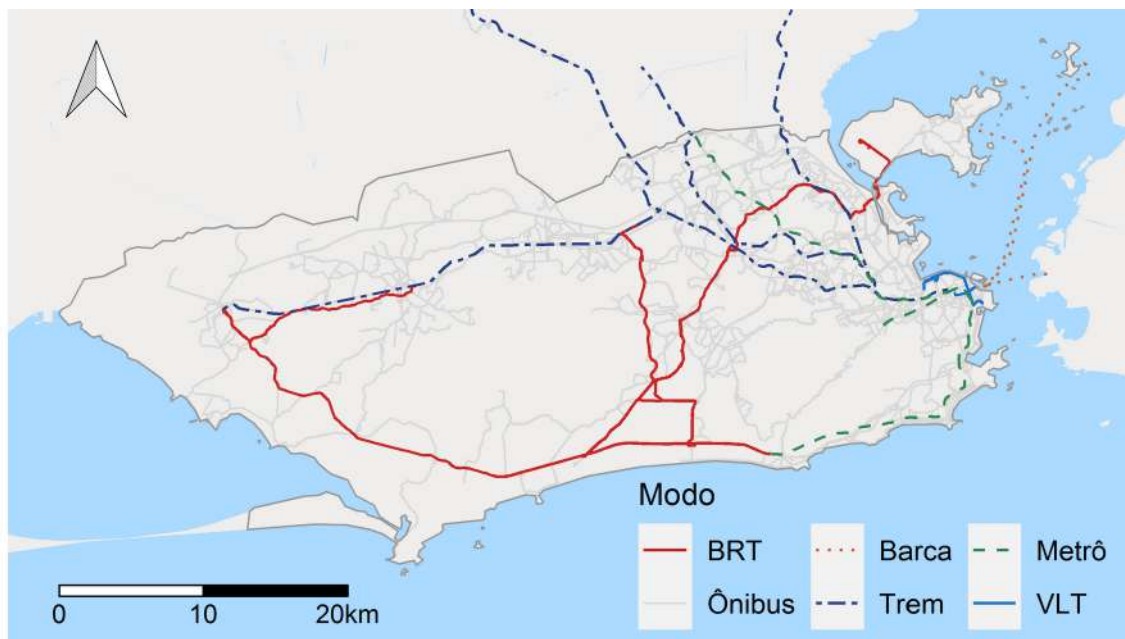


Figura 3 - Distribuição espacial das linhas de transporte público no Rio de Janeiro.

Dados originários dos arquivos GTFS da Fetranspor e da SuperVia.

Cerca de 60% dos passageiros transportados diariamente no Rio de Janeiro assim o são pelo sistema de ônibus². A cidade conta com uma densa rede de ônibus municipais, mais amplamente distribuídos no território do que os corredores de média e alta capacidade citados anteriormente. Por causa disso, muitas vezes se apresentam como a única alternativa de transporte público para os cidadãos, em sua maioria de baixa renda, que moram afastados dos corredores de trem, metrô e BRT. Como a divisão modal apresentada sugere, esses ônibus, que rodam em tráfego misto e contribuem para a saturação da malha viária, mais competem com os modos de mais alta capacidade que possuem corredores dedicados do que de fato operam de forma conjunta e em sintonia com eles. Isto se dá por causa do arranjo institucional, e consequentemente tarifário, do transporte público na cidade.

A responsabilidade pelo sistema de transporte público da cidade do Rio recai tanto sobre o governo municipal quanto o estadual, a depender do modo considerado, que delegam a operação e gestão de cada modo à iniciativa privada a partir de concessões. A operação e gestão dos sistemas de metrô e trem, de responsabilidade do governo estadual, é concedida às empresas MetrôRio e SuperVia, respectivamente. Os ônibus municipais, por sua vez, são operados por quatro consórcios de empresas diferentes, dependendo da região da cidade em que cada linha opera. Já o BRT, também de

2 Os dados não fazem distinção entre ônibus municipais e intermunicipais.

responsabilidade da prefeitura do Rio, vinha sendo operado pelo Consórcio BRT, porém desde março de 2021 é operado pela própria prefeitura, após sucessivas denúncias de falta de transparência e não cumprimento de acordos previstos em contrato (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2021). Há, no entanto, pouca articulação entre a gestão dos sistemas de transporte público nas duas esferas governamentais, e, conseqüentemente, entre as diversas operadoras que atuam na cidade, o que resulta em um serviço de má qualidade oferecido à população.

Um dos principais efeitos dessa falta de articulação é a limitada integração tarifária entre os diversos modos operantes: existem, no município, vários “Bilhetes Únicos”, além dos bilhetes eletrônicos válidos apenas em um modo, como o GIRO, do metrô. O Bilhete Único Municipal (ou Bilhete Único Carioca), instituído originalmente em 2010 (RIO DE JANEIRO, 2010), concede descontos ao usuário que realiza duas viagens consecutivas em modos de responsabilidade do poder municipal (e, no caso de algumas linhas de ônibus, com o metrô). Cada usuário tem até 2:30h para completar a transferência (ou seja, para embarcar no segundo modo) e só pode usufruir de no máximo dois descontos por dia, com intervalo de pelo menos uma hora entre eles. Esses descontos são bancados pelas próprias operadoras, que não recebem nenhum tipo de subsídio da prefeitura para isso. A Tabela 1 apresenta o valor de viagens compostas por modos municipais, com e sem o uso do Bilhete Único Municipal:

Tabela 1 - Tarifas integrais e com desconto pelo uso do Bilhete Único Municipal (dezembro de 2020)³

Composição da viagem	Tarifa integral	Tarifa com desconto
Ônibus municipal	R\$ 4,05	R\$ 4,05
BRT	R\$ 4,05	R\$ 4,05
VLT	R\$ 3,80	R\$ 3,80
Ônibus municipal + Ônibus municipal	R\$ 8,10	R\$ 4,05
Ônibus municipal + VLT	R\$ 7,85	R\$ 4,05
Ônibus municipal + BRT	R\$ 8,10	R\$ 4,05
VLT + VLT	R\$ 7,60	R\$ 3,80
Ônibus municipal (algumas linhas) ⁴ + Metrô	R\$ 9,05	R\$ 6,05

3 As tarifas apresentadas nas Tabelas 1 e 2 foram retiradas do site oficial do Riocard Mais, e correspondem aos valores divulgados em dezembro de 2020. Nem todas as possíveis combinações são apresentadas na tabelas; para mais detalhes consultar <https://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas>.

4 A lista completa de linhas pode ser acessada em <https://www.metrorio.com.br/Estacoes/Expressa>.

O Bilhete Único Intermunicipal, por sua vez, foi originalmente instituído em 2009 (RIO DE JANEIRO, 2009), e pode ser utilizado por pessoas cuja renda mensal não ultrapassa o teto de pagamento de benefícios do INSS (RIO DE JANEIRO, 2019), atualmente R\$ 6.433,57 (valor referente ao ano de 2021). Ele também concede descontos ao usuário que realiza duas viagens consecutivas, mas funciona de forma diferente: viagens entre barcas/ônibus intermunicipais e o VLT e os ônibus municipais, entre os ônibus intermunicipais e demais modos de responsabilidade do poder estadual (metrô, trem e barcas) e entre o trem e metrô passam a custar no máximo R\$ 8,55. Nesse caso, o desconto que o usuário recebe é pago às operadoras pelo governo estadual. Cada usuário tem até 3:00h para completar a transferência e, assim como com o Bilhete Único Municipal, só pode usufruir de no máximo dois descontos por dia, com intervalo de pelo menos uma hora entre eles. A Tabela 2 apresenta o valor das viagens para as quais o Bilhete Único Intermunicipal concede descontos, com e sem o uso deste bilhete:

Tabela 2 - Tarifas integrais e com desconto pelo uso do Bilhete Único Intermunicipal (dezembro de 2020)

Composição da viagem	Tarifa integral	Tarifa com desconto
Ônibus intermunicipal	Variável (depende da linha)	No máximo R\$ 8,55
Barca	R\$ 6,50	R\$ 6,30
Ônibus intermunicipal + Ônibus intermunicipal	Variável + variável	No máximo R\$ 8,55
Ônibus intermunicipal + Ônibus municipal	Variável + R\$ 4,05	No máximo R\$ 8,55
Ônibus intermunicipal + VLT	Variável + R\$ 3,80	No máximo R\$ 8,55
Ônibus intermunicipal + Metrô	Variável + R\$ 5,00	No máximo R\$ 8,55
Ônibus intermunicipal + Trem	Variável + R\$ 4,70	No máximo R\$ 8,55
Ônibus intermunicipal + Barca	Variável + R\$ 6,50	R\$ 8,55
Barca + Ônibus municipal	R\$ 10,55	R\$ 8,55
Barca + VLT	R\$ 10,30	R\$ 8,55
Metrô + Trem	R\$ 9,70	R\$ 8,55

Com ambos os Bilhetes Únicos o usuário pode também obter descontos na transferência do BRT para o metrô, desde que realizadas nas estações Jardim Oceânico e Vicente de Carvalho. Nesse caso, viagens que custariam R\$ 9,05 passam a custar R\$ 7,10.

O uso apropriado de cada cartão, assim como a diferença entre eles, historicamente representa uma grande fonte de confusão para a população do Rio. Desde 2019, no entanto, o usuário de transporte público conta com o bilhete eletrônico Riocard Mais, que permite que ele usufrua dos descontos oferecidos pelos dois Bilhetes Únicos com o uso de um único cartão (embora a funcionalidade do Bilhete Único Intermunicipal ainda tenha que ser explicitamente habilitada). Este cartão é amplamente utilizado pela população, resultado tanto de políticas que facilitam o seu acesso a trabalhadores formais, sob a forma de Vale Transporte⁵ (BRASIL, 1985, RIO DE JANEIRO, 2018b, a), quanto do fato de sua aquisição e uso não incorrerem em custos aos usuários que não são agraciados por tais políticas: como mostra um recente acompanhamento da prefeitura, cerca de 70% da receita do sistema de ônibus municipais, por exemplo, provém de pagamentos realizados a partir de bilhetagem eletrônica (RIO DE JANEIRO, [S.d.]).

O Riocard Mais, portanto, da perspectiva do usuário, resolve um dos problemas do sistema: ter que saber exatamente qual cartão usar para cada circunstância. Infelizmente, porém, ele não é suficiente para aliviar o orçamento de transportes da população do Rio. Isto porque, por trás desta camada de aparente integração promovida pelo bilhete, o sistema de transporte público da cidade ainda opera sob responsabilidade de duas entidades governamentais distintas, o que implica em diferentes critérios para remuneração das operadoras.

Deste fato decorre a pouca integração tarifária entre modos municipais e intermunicipais, uma vez que o governo municipal não quer se comprometer a subsidiar o transporte público e o governo estadual não quer bancar ainda mais subsídios para modos que não são de sua responsabilidade. O resultado disso, do ponto de vista do usuário, são maiores tarifas em viagens compostas por modos de responsabilidade tanto do governo da cidade quanto do estado.

O trem, por exemplo, não integra com nenhum modo de responsabilidade da prefeitura. O metrô, por sua vez, integra com pouquíssimas linhas de ônibus municipais e com o

5 Cabe notar que, por mais que parte dos custos com transportes de trabalhadores formais seja subsidiado pelos seus empregadores, caso façam uso do Vale Transporte, esses indivíduos ainda estão sujeitos a buscar economias em seus deslocamentos - entre outros motivos para que possam fazer proveito desse benefício em outros momentos, e não apenas em suas viagens ao trabalho. E que um grande contingente de pessoas não recebe esse benefício, visto que a taxa de informalidade no Rio de Janeiro gira em torno de 37% (SILVEIRA, 2021).

BRT. A exceção são os ônibus intermunicipais e as barcas, que integram tanto com os ônibus municipais quanto com o VLT (mas não com o BRT⁶). Ainda assim, é importante notar que os descontos oferecidos a essas viagens (e também às que conectam o metrô com o BRT e com algumas linhas de ônibus) são menores do que os oferecidos à integração dos modos municipais: enquanto no caso destes a política pode ser resumida em “duas viagens pelo preço de uma” (como pode ser visto na Tabela 1), a integração entre modos municipais e intermunicipais requer que o usuário ainda pague um valor extra para usar o segundo modo.

Em última instância, a pouca integração monetária entre modos municipais e intermunicipais decorrente da falta de articulação institucional do transporte público do Rio contribui para a divisão modal apresentada anteriormente. Os ônibus transportam a grande maioria dos passageiros na cidade porque estão amplamente distribuídos no território e porque são alternativas mais baratas do que os modos de mais alta capacidade. Junte-se a isto o fato de que muitas linhas troncais de ônibus percorrem itinerários similares aos corredores de trem e metrô, e muitos usuários passam a optar por deslocamentos de ônibus que, embora sejam mais lentos, se adequam melhor às suas necessidades financeiras. Os modos de maior capacidade, portanto, apesar de rodarem por algumas das regiões mais pobres da cidade (principalmente o trem), muitas vezes não atendem de fato a população que reside nesses locais e acabam sendo utilizados aquém de seu potencial.

A combinação da configuração espacial, operacional e institucional do transporte público e da distribuição espacial da população e das oportunidades de emprego no município, até então discutidas de forma separada neste capítulo, dá origem a um sistema de transportes muito desigual. Grandes contingentes de moradores de bairros afastados do centro da cidade, em sua maioria de baixa renda, historicamente enfrentam péssimas condições de acessibilidade ao emprego (LAGO, 2015). Corredores de transporte público de média e alta capacidade têm o potencial de atenuar este problema, mas não são amplamente utilizados pela população e nem alteram o fato de que muitas das pessoas mais pobres do município possuem baixos níveis de acessibilidade pelo simples fato de terem que cobrir longuíssimas distâncias diariamente para alcançar os grandes centros de emprego (CARNEIRO, TOLEDO, *et al.*, 2019). Os recentes

6 O que não afeta a integração das barcas com outros modos, já que não há estações de BRT próximas às estações das barcas, mas é mais significativo no caso dos ônibus intermunicipais, que são mais amplamente distribuídos no território.

investimentos em infraestrutura de transporte público relacionados à Copa do Mundo de 2014 e aos Jogos Olímpicos de 2016, embora tenham sido divulgados como instrumentos de redução de desigualdades, na verdade aumentaram a diferença entre os níveis de acessibilidade das parcelas mais ricas e mais pobres da população da cidade (PEREIRA, BANISTER, *et al.*, 2019).

Não obstante a relevância política do debate do custo do transporte público no município (ITDP BRASIL, 2020) e os impactos da falta de articulação institucional e tarifária sobre a divisão modal apresentada anteriormente, nenhum trabalho que estimou os níveis de acessibilidade na cidade incorporou o custo monetário às medidas utilizadas. Mello (2015) utiliza uma medida baseada em localidades em que pondera o número de empregos em cada unidade espacial pelo tempo médio de deslocamento entre cada unidade e as demais que compõem a área de estudo. Pereira (2018), Carneiro *et al.* (2019), Pereira (2019), Pereira *et al.* (2019) e Boisjoly *et al.* (2020) utilizam medidas de oportunidades cumulativas em que apenas restrições de tempo de viagem são consideradas. Bittencourt *et al.* (2020) usam uma medida competitiva, levando em consideração tanto o número de empregos que podem ser alcançados a partir de uma origem, quanto o número de pessoas que podem alcançar um destino - mas também considerando apenas o tempo de viagem. A abordagem utilizada no estudo de caso desta dissertação, portanto, inova ao utilizar tanto restrições de tempo de viagem quanto de custo monetário para calcular os níveis de acessibilidade no Rio de Janeiro. O capítulo a seguir descreve os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste estudo de caso.

4 Dados e métodos

Este capítulo tem como objetivo apresentar os dados e métodos utilizados no estudo de caso, bem como relacioná-los às boas práticas observadas na literatura. Busca-se, com este estudo, investigar como a incorporação simultânea de restrições de custo monetário e de tempo de viagem a uma medida de acessibilidade impacta análises de equidade. O método, para isso, envolve três etapas.

Em primeiro lugar calculam-se as matrizes de tempo de viagem, levando em consideração tanto a duração quanto o custo monetário de cada deslocamento. Essas matrizes tornam possível o cálculo da acessibilidade, etapa seguinte, na qual foram utilizadas medidas de oportunidades cumulativas com limites independentes de tempo de viagem e de custo monetário. Por fim, da distribuição da acessibilidade entre diferentes grupos socioeconômicos foram calculados os níveis de desigualdade. O impacto do custo monetário sobre análises de equidade é avaliado, no capítulo seguinte, a partir da variação de tais níveis quando são consideradas diferentes restrições temporais e monetárias.

As diferentes etapas que compõem o procedimento empregado neste trabalho, assim como os dados utilizados na pesquisa, são descritas a seguir.

4.1 Dados

Os dados usados neste estudo de caso têm origem em diferentes fontes. Dados socioeconômicos e populacionais vêm do Censo 2010, e dados de emprego vêm da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) 2017. Esses dois conjuntos de dados são espacialmente agregados e disponibilizados publicamente pelo Projeto Acesso a Oportunidades (PEREIRA, BRAGA, *et al.*, 2019). Os dados foram agregados usando o sistema de grades hexagonais H3, desenvolvido pela Uber (BRODSKY, 2018), na resolução de índice 8. Nesta resolução, a cidade é coberta por um total de 1728 células, e cada célula possui uma diagonal de 922 metros e uma área de 0,74 km².

É importante frisar, no entanto, que os dados da RAIS dizem respeito apenas aos empregos formais: empregos informais, que chegam a ser 37% do total de empregos no Rio de Janeiro (SILVEIRA, 2021) e que são ocupados principalmente por pessoas em

situação de vulnerabilidade financeira, não constam na base. A despeito disso, a localização dos empregos formais e informais à época da realização do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro em 2003 sugere que a distribuição espacial desses dois conjuntos de atividades não é radicalmente diferente (PEREIRA, BANISTER, *et al.*, 2019), não comprometendo os resultados deste trabalho.

Dados relativos à rede viária e à infraestrutura para pedestres foram extraídos do OpenStreetMap, em abril de 2020. Dados da rede de transporte público em formato General Transit Feed Specification (GTFS) foram disponibilizados pela Fetranspor e SuperVia mediante solicitação por email, e representam um dia de operações típico durante a semana do mês de novembro de 2018.

As tarifas de cada viagem foram calculadas conforme os valores e regras apresentados na Tabela 1 e, de forma mais completa, em Riocard Mais ([S.d.]). Ônibus intermunicipais foram removidos dos arquivos GTFS, pois as tarifas especificadas para a grande maioria não estavam corretas, e correções manuais não se mostraram possíveis em virtude da ausência de registros relevantes atualizados.

A coleta, o processamento, a consolidação e o desenvolvimento de figuras e análises dos dados foram realizados em R (R CORE TEAM, 2020). O código desenvolvido para este estudo de caso está publicamente disponível na forma de um repositório no GitHub⁷. Busca-se com isto aumentar a reprodutibilidade do estudo e promover pesquisas similares em outros contextos.

4.2 Matrizes de tempo de viagem e de custo monetário

A etapa de cálculo de matrizes de custo entre as origens e os destinos de uma área de estudo é parte essencial do processo de estimativa dos níveis de acessibilidade naquela região. Essas matrizes são usualmente compostas apenas pelo tempo mínimo de viagem entre as origens e os destinos. Nesta pesquisa, no entanto, deseja-se compreender o impacto de restrições tanto de tempo de viagem quanto de custo monetário sobre estimativas de acessibilidade e desigualdade, logo é imprescindível que seja calculado também o preço das viagens entre dois pontos - configurando, portanto, uma matriz de tempo e de custo monetário de viagem.

⁷ Disponível em <https://github.com/dhersz/msc-thesis>.

As rotas de transporte público foram calculadas usando o *OpenTripPlanner*⁸, um programa de código aberto de roteamento multimodal. Este programa gera diversas alternativas de itinerários para cada par de origem e destino, retornando informações como o tempo de viagem, os modos e linhas utilizados no deslocamento, a distância de caminhada, entre outras. Neste trabalho foram calculados até 20 itinerários distintos entre cada par, em contraponto à prática amplamente utilizada na literatura de considerar apenas a rota mais rápida entre dois pontos (e.g. EL-GENEIDY, LEVINSON, *et al.*, 2016, MA, MASOUD, *et al.*, 2017).

Esta prática comum na literatura parte das premissas de que os usuários de transporte público têm acesso a recursos financeiros ilimitados e têm conhecimento irrestrito da rede de transporte público, logo sempre utilizam a rota mais rápida para percorrer o caminho entre dois pontos. Na prática, portanto, ignora que pessoas que possuem maiores restrições orçamentárias muitas vezes optam por rotas mais lentas, porém mais baratas.

A abordagem utilizada neste trabalho, ao considerar também itinerários não-ótimos em termos de tempo de viagem, busca mitigar este problema, porém não o elimina completamente. Programas de roteamento associam cada possível itinerário a um custo generalizado, composto por diversos elementos como o tempo de viagem, a distância percorrida a pé, o tempo de espera em paradas de transporte público, etc. É possível que, mesmo analisando até 20 itinerários entre dois pontos, uma determinada rota mais barata possua um custo generalizado tão maior do que as demais que ela não seja considerada pelo programa de roteamento. Novas soluções para esse problema têm sido propostas na literatura (CONWAY, STEWART, 2019), porém não foram utilizadas neste trabalho.

O tempo de viagem dos itinerários foi estimado como o somatório da duração de todas as etapas de um deslocamento de porta-a-porta, incluindo a caminhada da origem ao ponto de embarque, a espera do veículo no ponto, o tempo dentro do veículo, a duração de eventuais transbordos e a caminhada do ponto de desembarque até o destino. Essas informações são retornadas de forma automática pelo *OpenTripPlanner*.

O *OpenTripPlanner*, no entanto, não calcula o preço de cada perna de transporte público. Para isto foram utilizadas as tarifas vigentes na cidade do Rio em dezembro de

8 Disponível em <http://www.opentripplanner.org/>.

2020, conforme publicadas na página oficial do Riocard Mais⁹. Dada a grande utilização da bilhetagem eletrônica no município, adotou-se como premissa que os usuários têm acesso ao Riocard Mais, com os quais eles têm direito aos descontos destacados nas Tabelas 1 e 2 (Capítulo 3). Porém, como cada usuário está limitado a usufruir de no máximo duas integrações tarifárias por dia, limitou-se que cada pessoa poderia receber apenas um desconto por itinerário.

Este pressuposto, embora seja uma simplificação, não é irreal. Em primeiro lugar, porque caso os dois descontos fossem gastos neste itinerário, que representa uma viagem de ida a um possível local de trabalho, nenhum desconto poderia ser utilizado na viagem de volta, o que poderia implicar em custos maiores do que no caso em que os descontos fossem utilizados em dois itinerários distintos. E em segundo lugar, porque a concessão de dois descontos em um mesmo itinerário implica que ao menos quatro diferentes pernas de transporte público foram utilizadas (o primeiro desconto seria entre a primeira e a segunda perna, e o segundo entre a terceira e a quarta). Essa condição muito extrema só atenderia aos moradores das periferias mais remotas da cidade, que por sua vez, por se encontrarem em situação de vulnerabilidade financeira, buscam diminuir o número de pernas de transporte público em seus itinerários. Ou seja, a concessão de dois descontos em um mesmo itinerário, embora hipoteticamente possível, raramente ocorre.

O custo monetário total de um itinerário, dessa forma, é o somatório da tarifa de cada uma de suas pernas, levando em consideração até uma integração tarifária entre elas. As matrizes de tempo de viagem e de custo monetário usadas no estado do caso, dessa forma, contém a duração e o preço final de cada um dos até 20 itinerários entre cada par de origem e destino no Rio de Janeiro. Cada horário de partida considerado no cálculo da acessibilidade (ver Seção 4.3, a seguir) é representado por uma matriz distinta, efetivamente resultando em uma distribuição de diferentes estimativas de acessibilidade. Dessa distribuição se retiram os níveis de acessibilidade considerados neste trabalho.

4.3 Estimativas de acessibilidade

O estudo de caso conduzido nesta dissertação faz uso de uma medida de oportunidades cumulativas em que são consideradas restrições de tempo de viagem e de custo

9 Disponível em <https://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas>.

monetário de forma independente - ou seja, sem agregá-las em uma única função de custo generalizado. Essa medida foi escolhida por ser de fácil operacionalização, comunicação e interpretação, porém requer que valores limites de custo sejam arbitrariamente estabelecidos e assume que todas as oportunidades que possam ser alcançadas a custos menores do que os limites são igualmente alcançáveis e desejáveis (GEURS, VAN WEE, 2004). De forma a minimizar este problema, diversos valores limites de tempo de viagem e de custo monetário foram determinados a partir de duas distribuições distintas. Os valores de tempo de viagem variam de 1 a 120 minutos, em incrementos de 1 minuto (i.e. 1, 2, 3, ..., 118, 119, 120), e os valores de custo monetário variam de R\$ 0 a R\$ 15, em incrementos de R\$ 0,05 (i.e. R\$ 0, 0,05, 0,10 ... 14,90, 14,95, 15). Estimativas de acessibilidade foram então realizadas para todas as combinações de valores entre essas distribuições.

No entanto, apenas algumas combinações de valores limites são destacadas nos resultados. Limites de tempo de viagem de 30, 60, 90 e 120 minutos são usados para demonstrar o impacto de restrições monetárias sobre viagens progressivamente mais longas. Limites de custo monetário, por outro lado, foram escolhidos conforme as tarifas vigentes para possíveis combinações modais na cidade do Rio de Janeiro em dezembro de 2020, mediante uso do Riocard Mais. Busca-se, com isso, enfatizar o papel que a política tarifária do Rio exerce sobre as condições de acessibilidade ao ditar quais modos e linhas podem ser utilizados com uma determinada quantia de dinheiro:

- R\$ 0.00 - apenas viagens a pé;
- R\$ 4.05 - todas acima e viagens compostas por uma ou duas pernas consecutivas de ônibus municipais e BRT;
- R\$ 4.70 - todas acima e viagens de trem;
- R\$ 5.00 - todas acima e viagens de metrô;
- R\$ 7.10 - todas acima e viagens que integram o BRT com o metrô;
- R\$ 8.75 - todas acima e viagens que integram o ônibus/BRT com o trem;
- infinito (sem limite de custo monetário) - todos os modos disponíveis.

A condução de análises sob diferentes combinações de limites de custo monetário e de tempo de viagem ajuda a mitigar o efeito de fronteira do problema de unidade de tempo modificável (MTUP, da sigla em inglês), que está relacionado à escolha arbitrária dos limites de custo incorporados à medida de acessibilidade (PEREIRA, 2019). As análises deste trabalho, contudo, estão mais sujeitas aos efeitos de segmentação e agregação temporal do MTUP (*ibid*). A agregação temporal se refere ao processo de agrupar

estimativas de acessibilidade ao longo de uma janela de tempo para sumariza-las em um único valor com o advento de uma função estatística, usualmente a média ou a mediana, e tem por objetivo considerar os efeitos do possível desencontro entre o horário de partida de um indivíduo e o horário de chegada de linhas de transporte público em uma parada. A segmentação temporal, por sua vez, se refere à seleção do ponto inicial desta janela de tempo.

De forma a mitigar o efeito de agregação do MTUP, horários de partida foram igualmente distribuídos a cada 15 minutos dentro de uma janela de tempo de duas horas entre 07:00 e 09:00 da manhã (07:00, 07:15, 07:30, ..., 08:30, 08:45, 09:00), representando o horário de pico da manhã de um típico dia útil. Nenhuma estratégia de mitigação do efeito de segmentação do MTUP foi utilizada, uma vez que o foco em apenas uma janela de tempo que cobre o período de pico satisfaz os objetivos deste trabalho. Os níveis de acessibilidade foram então calculados como a mediana do número de empregos acessíveis ao longo desta janela de tempo, como descrito nas Equações 1 a 3.

$$A_i = \text{median}_{r \in R} \left(\sum_{j=1}^n W_j \times \max_{k \in K} \left(f(t_{ijrk}) \times g(c_{ijrk}) \right) \right) \quad (1)$$

$$f(t_{ijrk}) = \begin{cases} 1, & \text{if } t_{ijrk} \leq T \\ 0, & \text{if } t_{ijrk} > T \end{cases} \quad (2)$$

$$g(c_{ijrk}) = \begin{cases} 1, & \text{if } c_{ijrk} \leq C \\ 0, & \text{if } c_{ijrk} > C \end{cases} \quad (3)$$

em que:

- A_i é a mediana da acessibilidade ao emprego por transporte público na origem i ,
- R é o conjunto total de horários de partida,
- W_j é o número de empregos no destino j ,
- n é o número de células espaciais que cobrem a área de estudo,
- K é o conjunto total de itinerários entre a origem i e o destino j no horário de partida r ,
- t_{ijrk} é o tempo de viagem do itinerário k entre a origem i e o destino j no horário de partida r ,
- T é o limite de tempo de viagem,
- $f(t_{ijrk})$ é uma função binária que assume o valor de 0 quando o t_{ijrk} é maior do que o limite, e 1 caso contrário,
- c_{ijrk} é o custo monetário do itinerário k entre a origem i e o destino j no horário de partida r ,

- C é o limite de custo monetário,
- $g(c_{ijrk})$ é uma função binária que assume o valor de 0 quando c_{ijrk} é maior do que o limite, e 1 caso contrário.

A garantia do acesso a oportunidades de emprego é essencial para que indivíduos não sejam socialmente excluídos, uma vez que o trabalho promove a capacidade financeira necessária para dar suporte a outros aspectos de suas vidas (ALLEN, FARBER, 2019). Isto faz do trabalho a atividade socioeconômica mais frequentemente considerada em análises de acessibilidade e equidade (KELOBONYE, MCCARNEY, *et al.*, 2019), o que, por sua vez, justifica sua escolha nas estimativas desta dissertação.

Cabe notar que um estudo recente aponta que o uso de medidas de oportunidades cumulativas nesta resolução temporal pode não ser adequado para análises sensíveis a parâmetros temporais, como os tempos de partida e limites de tempo de viagem utilizados (STĘPNIAK, PRITCHARD, *et al.*, 2019). Esse mesmo estudo, no entanto, sugere que esta questão é mais relevante quando analisadas janelas de tempo em que o transporte público funciona a baixas frequências, que não é o caso das análises conduzidas nesta dissertação. Ainda, a pesquisa de Stępniaik demonstra que o resultado de avaliações de equidade conduzidas à resolução temporal utilizada neste trabalho (15 minutos) não varia mais do que o limite estabelecido como aceitável. O uso de uma medida de oportunidades cumulativas nos moldes apresentados nas Equações 1 a 3, portanto, mostra-se apropriado para os objetivos da dissertação.

É importante ressaltar também que apenas os custos absolutos de cada itinerário foram considerados; ou seja, este trabalho não olha para o comprometimento de renda de cada indivíduo com o transporte público. É provável que os níveis de desigualdade de acessibilidade no município fossem maiores caso o comprometimento de renda fosse considerado, em virtude da grande disparidade de renda na cidade, porém busca-se com este trabalho isolar os efeitos de limites absolutos de custo monetário. Estudos futuros que desejem avaliar o impacto de restrições de comprometimento de renda sobre análises de equidade podem se beneficiar do uso do método aqui descrito, feitas as devidas alterações.

4.4 Estimativas de desigualdade

Diversas medidas de desigualdade podem ser utilizadas para estimar níveis de desigualdade de acessibilidade. Neste trabalho optou-se por utilizar a Razão de Palma, medida desenvolvida por Palma (2011) para investigar desigualdades de renda. Em sua concepção original, a medida é definida pela razão entre a parcela de renda detida pelos 10% mais ricos e a parcela detida pelos 40% mais pobres. No contexto da literatura de equidade nos transportes, ela foi traduzida como a razão entre a acessibilidade média dos 10% mais ricos e a acessibilidade média dos 40% mais pobres (e.g. GUZMAN, OVIEDO, 2018, PEREIRA, BRAGA, *et al.*, 2019), como apresentado na Equação 4:

$$P = \frac{\overline{A}_{10}}{\overline{A}_{40}} \quad (4)$$

em que:

- P é a Razão de Palma da distribuição de acessibilidade,
- \overline{A}_{10} é a acessibilidade média dos 10% mais ricos,
- \overline{A}_{40} é a acessibilidade média dos 40% mais pobres.

A Razão de Palma foi escolhida por conta das vantagens que apresenta quando comparada a outras medidas, como os Índices de Gini e de Theil. Em primeiro lugar, ela é mais fácil de comunicar e interpretar do que as alternativas (GUZMAN, OVIEDO, 2018), uma vez que seu resultado pode ser encarado como o quão grande é a acessibilidade dos mais ricos em comparação à dos mais pobres - ou seja, uma razão de valor dois significa que a acessibilidade média dos mais ricos é duas vezes maior do que a dos mais pobres. Os Índices de Gini e Theil, por outro lado, resultam em índices que são de mais difícil comunicação e interpretação.

Outra vantagem da Razão de Palma é o fato dela refletir claramente como os níveis de desigualdade variam entre dois grupos de especial interesse: os mais privilegiados e os mais vulneráveis de uma determinada população. Em contraste, o Índice de Gini estima o quanto uma determinada distribuição desvia de uma distribuição em que todos possuem a mesma acessibilidade, mas nada diz sobre as condições socioeconômicas daqueles que detêm os maiores, ou menores, níveis de acessibilidade. Uma determinada política de transporte que aumenta os níveis de acessibilidade de cidadãos de alta renda que moram em locais de baixa acessibilidade, portanto, reduziria a desigualdade como

estimada pelo Índice de Gini, mesmo que nenhuma população vulnerável se beneficie dessa política. Dificilmente pode-se argumentar, no entanto, que esta é uma política equitativa. Neste mesmo caso, o uso da Razão de Palma indicaria que houve um aumento da desigualdade, resultado mais alinhado à caracterização de equidade apresentada no Capítulo 2 (DI CIOMMO, SHIFTAN, 2017).

A Razão de Palma, no entanto, pode ser questionada por usar pontos de corte arbitrários; por que os 10% mais ricos e os 40% mais pobres? De forma a conferir maior robustez aos resultados desta dissertação, portanto, as análises aqui apresentadas também foram realizadas com o Índice de Theil, medida que permite estimar a desigualdade entre grupos socioeconômicos distintos. Essas análises não são apresentadas nos capítulos seguintes por muito se assemelharem às conduzidas com a Razão de Palma, mas as conclusões gerais deste trabalho permanecem inalteradas quando o Índice de Theil é usado como medida de desigualdade. Os resultados com o Índice de Theil análogos aos apresentados nas Figuras 5 e 6 são apresentados no apêndice deste trabalho, nas Figuras 1A e 2A.

5 Resultados

5.1 Distribuição espacial da acessibilidade

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da mediana da acessibilidade ao emprego na cidade do Rio de Janeiro levando em consideração diferentes limites de custo monetário e tempo de viagem. Como esperado, quanto maiores esses limites, maiores são os níveis de acessibilidade. A figura também torna evidente o impacto de restrições monetárias sobre estimativas de acessibilidade: um passageiro hipotético poderia experimentar maiores níveis de acessibilidade simplesmente aumentando seu orçamento destinado ao transporte, que o permitiria usufruir de mais linhas, modos e baldeações, em vez de necessariamente ter que passar mais tempo em trânsito. A análise da figura nos permite compreender o efeito de cada modo sobre esses níveis, em decorrência de sua distribuição espacial e características operacionais e tarifárias.

Como não há serviços de transporte público oferecidos gratuitamente na cidade, as estimativas de acessibilidades a um limite de R\$ 0,00 representam a acessibilidade ao emprego por caminhada, que tem seu pico no centro empresarial da cidade e diminui de forma quase linear a partir deste ponto. Com R\$ 4,05, por sua vez, uma pessoa pode fazer viagens de ônibus (até duas linhas distintas) e de BRT, além de poder fazer baldeações entre esses dois modos. Linhas e paradas de ônibus são relativamente bem distribuídas na cidade, mas suas baixas velocidades operacionais limitam os ganhos de acessibilidade decorrentes de seu uso, particularmente nas regiões periféricas, mesmo quando considerando longas viagens. Os serviços de BRT, por outro lado, operam a maiores velocidades, e portanto são responsáveis por ganhos de acessibilidade mais significativos. A rede de BRT, contudo, se configura em forma de corredores, sendo menos amplamente distribuída do que a de ônibus municipais. Esses ganhos de acessibilidade, assim, são mais evidentes próximos a esses corredores, e mesmo assim a limites de tempo de viagem mais extensos: nenhum corredor do BRT se estende até o centro da cidade, exigindo que seu usuário faça uma transferência para um ônibus municipal para alcançar as grandes concentrações de emprego na cidade, o que resulta em maiores tempos de viagens.

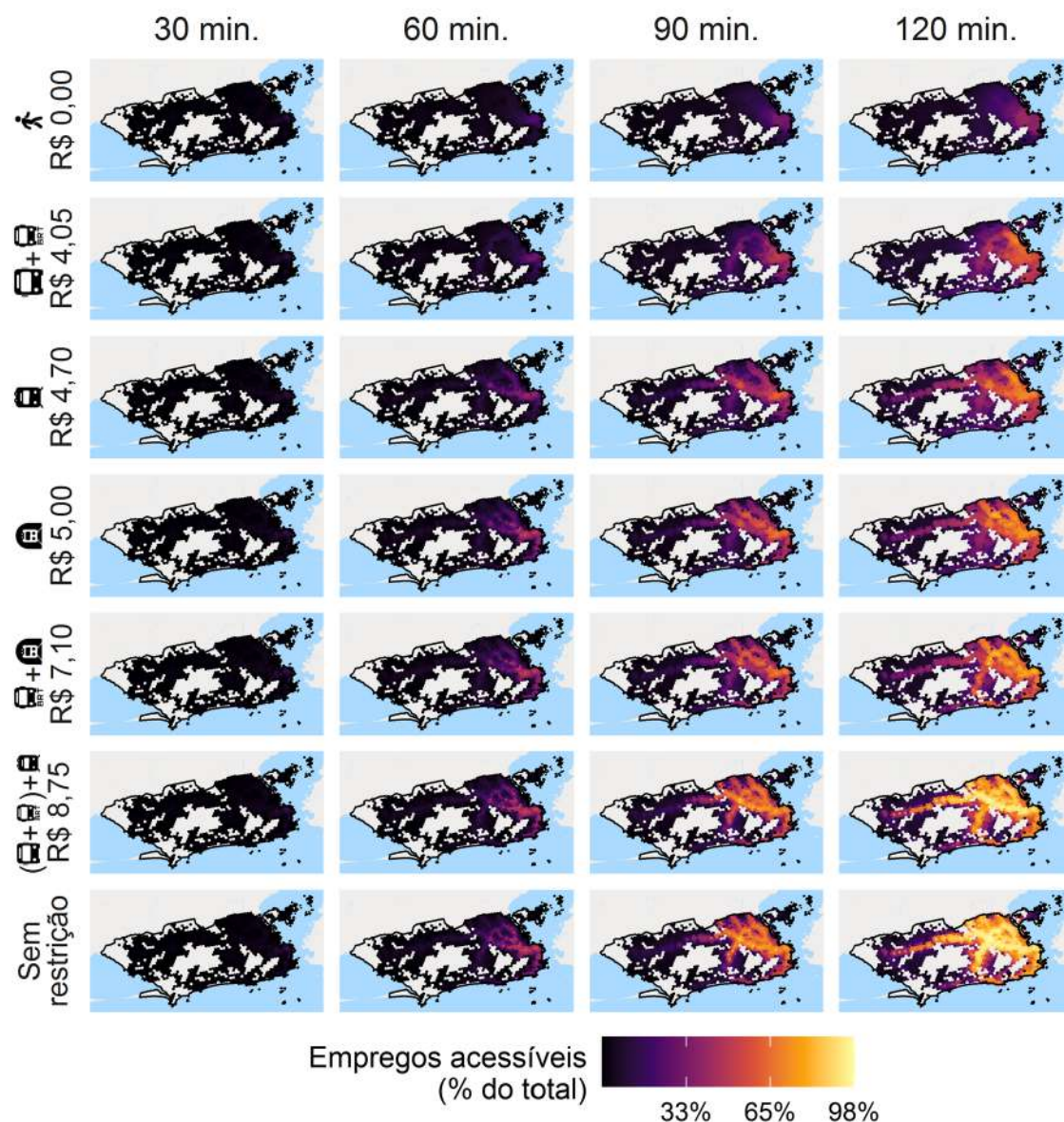


Figura 4 - Distribuição espacial da mediana da acessibilidade ao emprego por transporte público entre 7 e 9 da manhã, levando em consideração diferentes limites de custo monetário e tempo de viagem. Rio de Janeiro, 2018.

Os efeitos do trem sobre a acessibilidade podem ser observados a partir do limite de custo de R\$ 4,70. Este modo serve muitos dos indivíduos mais pobres da cidade, que moram em bairros periféricos nas Zonas Norte e Oeste, ao conectá-los ao centro empresarial da cidade. As grandes distâncias que separam essas pessoas dos centros de emprego, no entanto, fazem com que os ganhos de acessibilidade decorrente do uso do trem sejam mais perceptíveis a grandes limites de tempo de viagem. Os efeitos do metrô, por outro lado, que começam a aparecer a partir do limite de R\$ 5,00, são mais

pronunciados em viagens curtas do que os dos demais modos citados anteriormente, principalmente no Centro e na Zona Sul da cidade. Quando considerados limites de tempo de viagem maiores, os ganhos de acessibilidade passam a ser mais evidentes em torno da parcela do corredor do metrô que se estende ao norte do município.

Os impactos da integração entre modos sobre a acessibilidade são notórios a partir de limites de custo monetários mais altos. Usuários de transporte público podem usufruir da integração entre o metrô e o BRT com R\$ 7,10, aumentando os níveis de acessibilidade nas regiões próximas aos corredores desses dois modos, notavelmente no entorno dos corredores de BRT que correm entre os dois grandes Parques Naturais da cidade e na região mais ao sul, na Barra da Tijuca. Já os efeitos de permitir integrações entre o trem, modo de alta velocidade operacional, e os ônibus municipais, de grande conectividade com a rede viária, são os observados no limite de R\$ 8,75. Muitas regiões da cidade se beneficiam desta integração em termos de ganhos de acessibilidade devido à ampla distribuição da rede de ônibus pela cidade, mas estes ganhos são mais pronunciados nas áreas próximas aos corredores e estações de trem. Levar em consideração viagens caras do que R\$ 8,75 leva a ainda mais ganhos de acessibilidade, principalmente nas imediações dos corredores de BRT, trem e metrô.

Pode-se notar que o relaxamento de qualquer uma das restrições impostas (tanto de tempo de viagem quanto de custo monetário) leva a um aumento de acessibilidade. Esse aumento, no entanto, ocorre de forma distinta dependendo da restrição que é relaxada. O afrouxar de restrições de tempo de viagem, por exemplo, permite que uma pessoa faça viagens mais longas, mas não impacta em quais modos podem ser utilizados para isto. O resultado disso, visualmente, são manchas de acessibilidade que se expandem gradualmente com o aumento do limite de tempo de viagem, mas que ainda ficam limitadas às “fronteiras” impostas pelos modos disponíveis (por exemplo, os arredores dos corredores de trem nunca apresentarão altos níveis de acessibilidade em estimativas feitas com um limite de R\$ 4,05, como pode ser visto na Figura 5, pois o trem não pode ser utilizado com este valor).

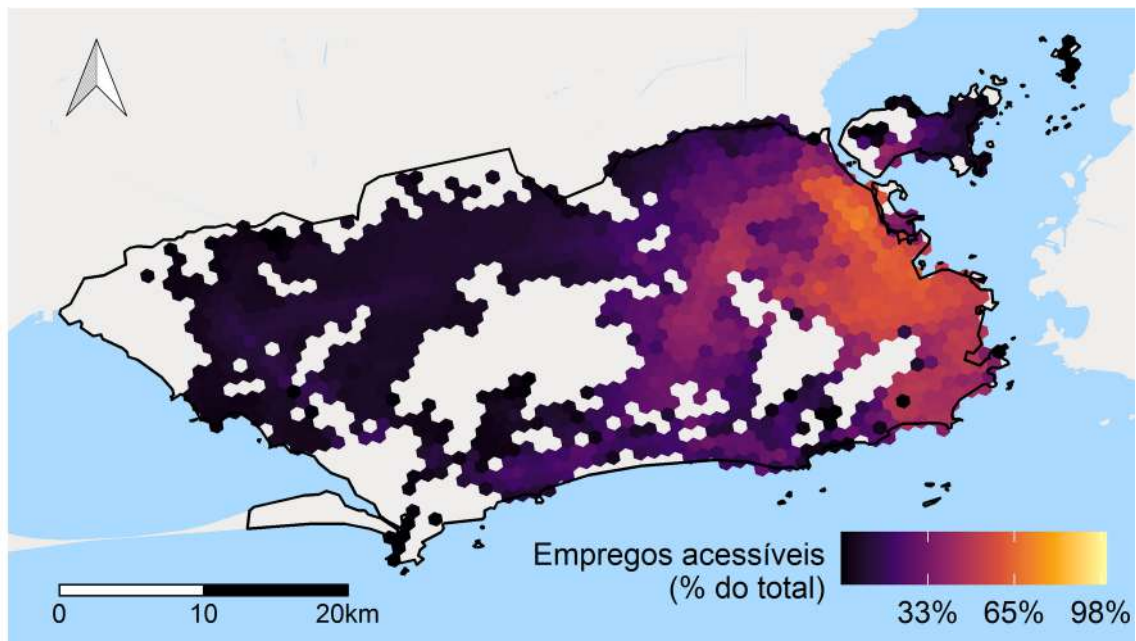


Figura 5 - Distribuição espacial da mediana da acessibilidade ao emprego por transporte público levando em consideração viagens de até 120 minutos e até R\$ 4,05. Rio de Janeiro, 2018.

Já o relaxamento de restrições monetárias permite que um usuário de transporte público usufrua de modos e transferências cujos custos ele anteriormente não poderia arcar com, efetivamente introduzindo a este indivíduo possibilidades de viagens antes inacessíveis a ele. Mas essa introdução se dá de forma discreta, e não contínua, porque segue a descontinuidade do preço das tarifas de cada modo e integração (ou seja, o aumento de R\$ 4,05 para R\$ 4,10 não resulta em maiores níveis de acessibilidade, mas o de R\$ 4,65 para R\$ 4,70 sim). O resultado disso, visualmente, são grandes manchas de acessibilidade introduzidas nos limites de custo referentes às tarifas praticadas na área de estudo, sem que essas manchas estejam necessariamente correlacionadas com a distribuição espacial observada em limites de custo mais baixos (o aumento do limite de R\$ 4,70 para R\$ 5,00 no caso do Rio, por exemplo, leva ao surgimento “repentino” de altos níveis de acessibilidade em torno da linha do metrô que corre na Zona Norte da cidade, como visto na Figura 6).

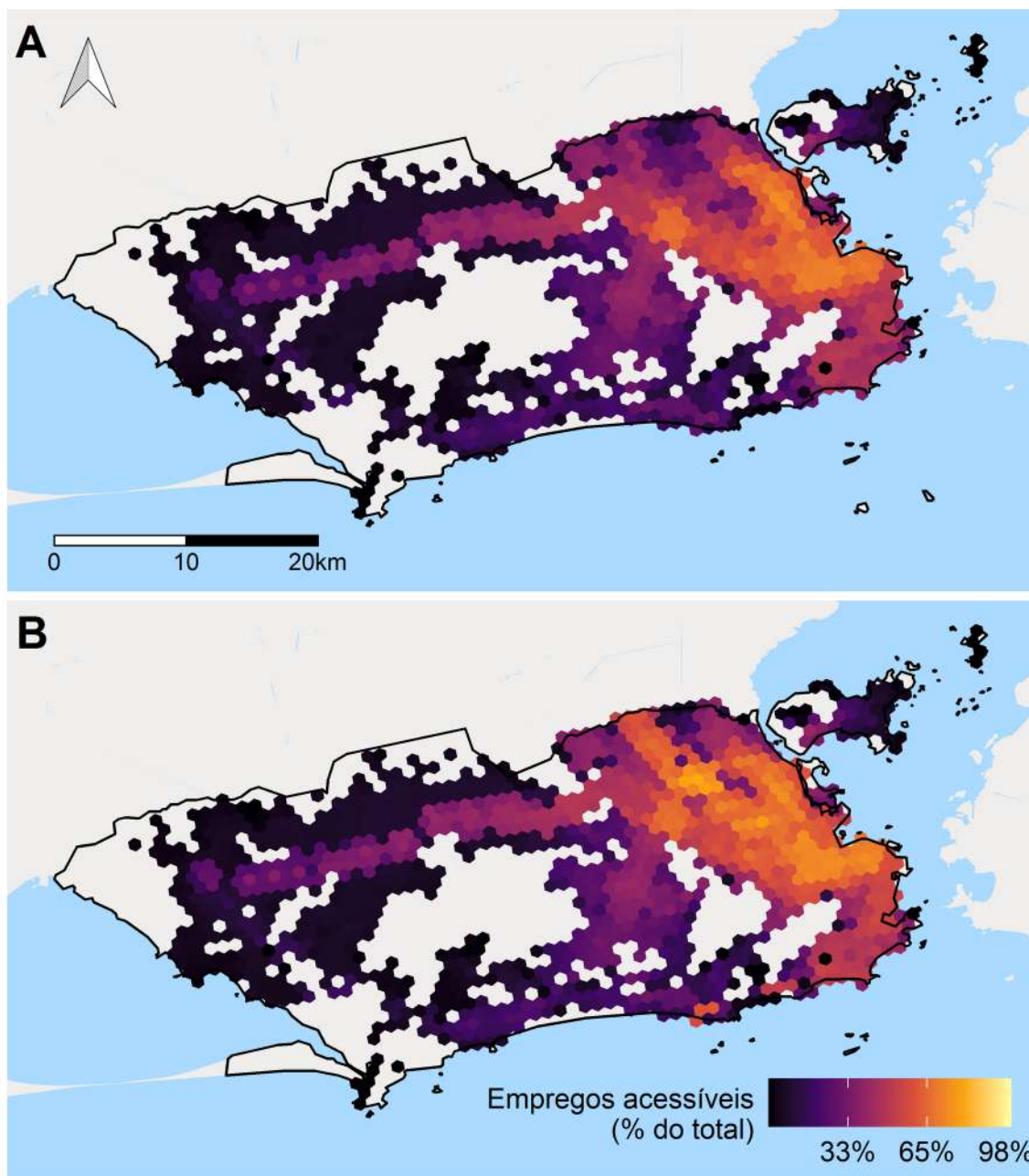


Figura 6 - Distribuição espacial da mediana da acessibilidade ao emprego por transporte público levando em consideração viagens de até 120 minutos e até R\$ 4,70 (A), e até R\$ 5,00 (B). Rio de Janeiro, 2018.

A incorporação de restrições de custo monetário a medidas que anteriormente estimavam a impedância de uma viagem apenas pela sua duração, portanto, afeta de forma significativa a distribuição espacial da acessibilidade na área de estudo. Consequentemente, afeta também como ela é distribuída entre diferentes grupos socioeconômicos, o que pode impactar nas estimativas dos níveis de desigualdade. Esses impactos são analisados na seção a seguir.

5.2 Níveis de desigualdade

A Figura 7 apresenta como a magnitude da desigualdade de acessibilidade entre os mais ricos e os mais pobres do município varia quando são consideradas diferentes restrições temporais e monetárias.

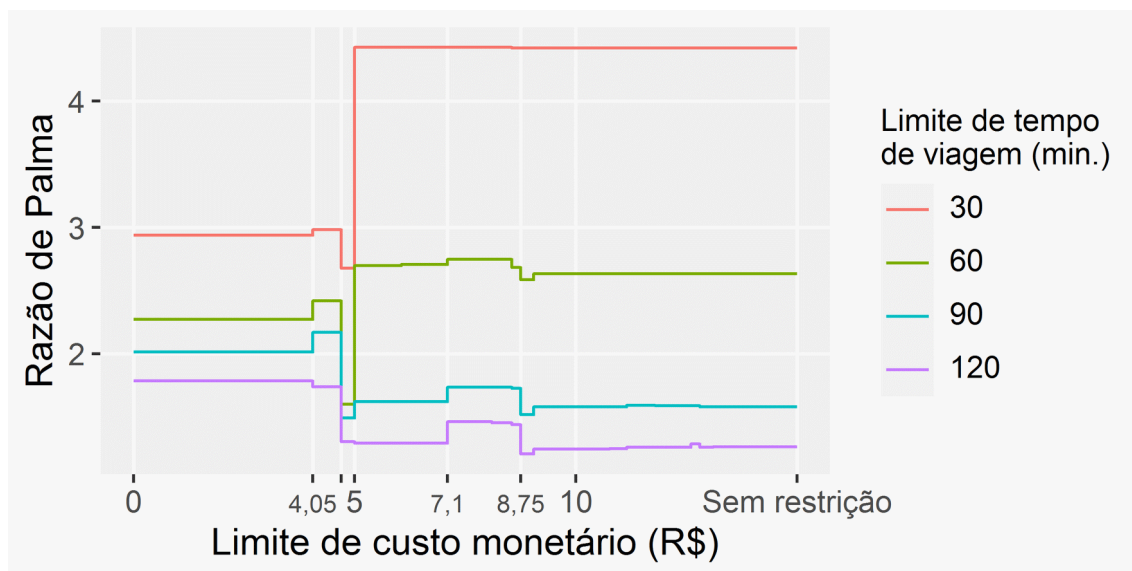


Figura 7 - Variação da Razão de Palma para cada limite de tempo de viagem, como um resultado de estimar a acessibilidade com diferentes limites de custo monetário. Rio de Janeiro, 2018

Ao longo de todo o espectro monetário, a desigualdade tende a ser maior em limites de tempo de viagem relativamente baixos (30 e 60 minutos), como poderia-se esperar, porque via de regra os bairros mais abastados do Rio tendem a estar mais próximos das grandes concentrações de emprego. Curiosamente, no entanto, nestes tempos relativamente baixos os níveis de desigualdade quando consideradas viagens mais caras do que R\$ 5,00 (incluindo também as em que não há limite de custo monetário) tendem a ser maiores do que quando consideradas apenas viagens a pé, mas o mesmo não é verdade quando observadas as curvas de desigualdade de estimativas feitas com limites de tempo de viagem maiores, de 90 e 120 minutos. Isto significa que a incorporação do custo monetário de uma viagem em estimativas de acessibilidade pode aumentar ou diminuir a desigualdade, a depender do tempo de viagem considerado. Uma inspeção minuciosa dessa figura pode ajudar a compreender como a interação entre restrições monetárias e temporais afetam os níveis de acessibilidade e desigualdade.

Todas as curvas apresentam níveis de desigualdade constantes entre os limites de R\$ 0,00 e R\$ 4,05, valor a partir do qual a configuração do sistema de transporte público começa a influenciar os níveis de desigualdade¹⁰. Neste valor, com o qual viagens de ônibus e BRT podem ser realizadas, a curva do limite de 30 minutos apresenta um ligeiro aumento da Razão de Palma. As distâncias percorridas por esses modos em tão pouco tempo não aumentam substancialmente o número de empregos alcançados pelos cidadãos mais pobres do município, mas são suficientes para aumentar os níveis de acessibilidade dos mais ricos, uma vez que eles têm que cobrir menores distâncias para chegar aos centros de empregos. A R\$ 4,70, valor das viagens de trem, esta mesma curva sofre um declínio significativo, para depois crescer a níveis maiores do que os de antes no limite de R\$ 5,00, quando viagens de metrô passam a se tornar possíveis. Os corredores de trem cortam algumas das áreas mais pobres da cidade e estão completamente ausentes dos bairros mais ricos, portanto contribuindo para um transporte público mais equitativo. O metrô, por outro lado, serve muitas das regiões mais ricas da cidade, conectando-as ao centro empresarial e a outras concentrações de empregos. Essas regiões se beneficiam imensamente da maior frequência e velocidade operacional do metrô, que permite que seus moradores consigam alcançar muitas oportunidades mesmo a limites de tempo de viagem baixos, como 30 minutos.

Para limites acima de R\$ 5,00, no entanto, a curva volta a apresentar um comportamento constante. Isto se dá porque deslocamentos que requerem mais do que R\$ 5,00 para serem realizados são inevitavelmente compostos por ao menos uma transferência entre modos distintos, e impõem maiores tempos de espera, acesso e egresso aos usuários. Essas viagens, portanto, dificilmente podem ser completadas dentro do limite de 30 minutos, e acabam não impactando os níveis de desigualdade neste limite de tempo de viagem.

A curva do limite de 120 minutos retrata um cenário distinto. A Razão de Palma, por exemplo, diminui no limite de R\$ 4,05, em vez de aumentar como no caso da curva de 30 minutos. Isto porque essas viagens, por serem muito longas, expandem a área de captação de atividades dos mais ricos para regiões com poucos empregos, ao passo que

10 Embora mais barato do que os ônibus municipais, os efeitos do VLT sobre os níveis de desigualdade não podem ser observados. Isto pode ser atribuído principalmente à sua baixa cobertura espacial e à sua velocidade operacional não muito alta. Este modo é principalmente utilizado para a realização de viagens curtas, situação na qual o programa de roteamento dá maior prioridade a deslocamentos a pé. Para a realização de viagens mais longas, por outro lado, a prioridade é dada a deslocamentos por ônibus ou metrô.

expande a dos mais pobres, que moram muito afastados do centro, para regiões com maiores concentrações de oportunidades. Novamente, no entanto, a curva sofre um declínio no limite de R\$ 4,70, destacando a importância do trem para comunidades de baixa renda que moram afastadas do centro da cidade, mas em nítido contraste com a curva de 30 minutos de tempo de viagem a desigualdade pouco se altera no limite de R\$ 5,00, chegando a sofrer uma pequena diminuição. Isto é resultado do efeito conjunto das altas velocidades operacionais do metrô e de sua limitada distribuição espacial, que abrange principalmente a Zona Sul e uma parcela da Zona Norte. O metrô, portanto, acaba “esgotando” os benefícios que pode oferecer sem o complemento de baldeações para outros modos em limites de tempo de viagem inferiores.

Permitir a integração entre o metrô e o BRT (de custo R\$ 7,10) em viagens de 120 minutos, por outro lado, favorece majoritariamente a população de classes socioeconômicas mais altas que ou mora perto de trechos do corredor de BRT próximos a estações de metrô, ou mora próxima ao metrô e usa o BRT como modo de “última milha” para alcançar diversas oportunidades. O extremo oeste do município, embora seja atendido por alguns corredores de BRT, é tão distante dos grandes centros de emprego que mesmo longas viagens de até duas horas não são suficientes para aumentar consideravelmente os níveis de acessibilidade da população que mora lá. Essas pessoas se favorecem mais da integração entre os ônibus municipais e o trem, a um valor de R\$ 8,75, que permite que os ônibus, de grande capilaridade na rede viária, sejam utilizados como modos de última milha de viagens de trem, de maior velocidade operacional e capacidade. Os impactos positivos desta integração sobre a equidade no acesso ao emprego na cidade são representados na figura como um grande declínio na Razão de Palma. Deste ponto em diante, os níveis de desigualdade quando consideradas viagens de até 120 minutos tendem a se estabilizar.

Em síntese, a inspeção detalhada das curvas dos limites de 30 e 120 minutos de tempo de viagem torna evidente que restrições de custo monetário influenciam os resultados de análises de equidade nos transportes. Como esses resultados são influenciados, por sua vez, é em grande medida ditado não pelo custo monetário isoladamente, mas sim pelo efeito combinado de restrições de tempo de viagem e de custo monetário. No caso do Rio, por exemplo, levar viagens de metrô (R\$ 5,00) em consideração aumenta vertiginosamente a desigualdade no caso do limite de 30 minutos, mas pouco a altera - chegando até a diminuí-la sutilmente - quando viagens de até duas horas são

consideradas. Já viagens de trem (R\$ 4,70) sempre reduzem a desigualdade, embora a intensidade desta diminuição varie, independentemente do limite de custo monetário.

A Figura 8 apresenta os mesmos resultados da Figura 7 de uma perspectiva diferente. Em contraste com a figura anterior, ela mostra como os níveis de desigualdade de determinadas curvas de limites de custo monetário flutuam com variações de limites de tempo de viagem. Este gráfico ajuda a entender o impacto de modos específicos sobre a desigualdade, e como ele muda com o relaxar de restrições temporais, o que permite que sejam feitos diagnósticos mais assertivos sobre o papel de cada modo no panorama geral das condições de acessibilidade na cidade.

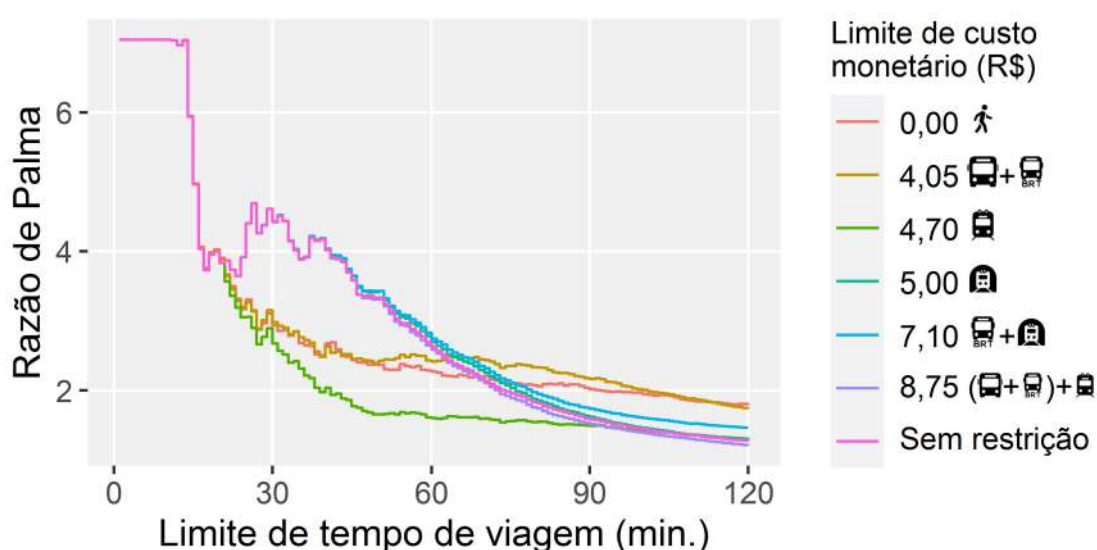


Figura 8 - Variação da Razão de Palma para cada limite de custo monetário, como um resultado de estimar a acessibilidade com diferentes limites de tempo de viagem. Rio de Janeiro, 2018

A curva do limite de R\$ 0,00 representa um cenário base em que nenhum serviço de transporte público é levado em consideração, logo a desigualdade de acessibilidade é resultado principalmente da co-localização espacial da população e das oportunidades de emprego na cidade. A desigualdade decorrente do uso desses serviços começa a se fazer presente a partir da marca de 15 minutos, aproximadamente. A partir deste ponto torna-se possível comparar este cenário com os que surgem quando o uso de diferentes modos torna-se disponível.

A desigualdade quando viagens de ônibus municipais e BRT são levadas em consideração, a um custo de R\$ 4,05, não desvia significativamente do cenário base até

a marca de 50 minutos, graças à ampla distribuição de paradas de ônibus na cidade. Deste ponto em diante a Razão de Palma cresce ligeiramente até a marca dos 70 minutos, quando ela então começa a decair de forma mais acelerada do que no cenário base. O comportamento da curva do limite de R\$ 4,05 é um sinal de que apenas quando consideradas viagens de pelo menos uma hora de duração é que a população mais pobre do município passa a se beneficiar mais do uso dos ônibus municipais e do BRT do que os mais ricos. Até então tais modos pouco mudavam, até os 50 minutos de viagem, ou exacerbavam, dali em diante, a desigualdade imposta pela distribuição espacial de empregos e habitação na cidade.

Passar a incluir viagens de trem nas estimativas, ao contrário, sempre leva a níveis de desigualdade menores do que os do cenário base, desde os limites de tempo de viagem muito baixos até os muito altos. A curva do limite de R\$ 4,70 declina de forma acentuada até a marca de 50 minutos, ponto a partir do qual ela assume a mesma inclinação da curva da acessibilidade a pé. Este padrão ressalta a importância de facilitar o acesso ao trem a partir de outros modos, uma vez que os benefícios que os cidadãos mais pobres derivam do seu uso de forma isolada tendem a diminuir significativamente com o passar do tempo.

As demais curvas, do limite de R\$ 5,00 em diante, adquirem formatos muito parecidos, destacando os efeitos do metrô sobre os níveis de desigualdade. As estimativas da Razão de Palma crescem significativamente a baixos limites de tempo de viagem, mas começam a decair a partir da marca de 30 minutos, aproximadamente. Este comportamento traz à tona duas particularidades relacionadas ao serviço do metrô: em primeiro lugar, sua configuração espacial privilegia a população de alta renda que usufrui de suas altas frequências e velocidades operacionais para alcançar grandes centros de emprego rapidamente; quando considerados horizontes temporais menos restritivos, entretanto, indivíduos de classes socioeconômicas mais baixas passam a conseguir usar este modo para acessar esses mesmos centros de emprego, o que leva a queda dos níveis de desigualdades observada. Ainda sim, quando essas curvas são comparadas com a do cenário base, pode-se observar que os benefícios que os mais pobres usufruem do uso do metrô só prevalecem ante às melhores condições de acesso dos mais ricos a partir da marca de 70 minutos de tempo de viagem, aproximadamente.

A curva relativa ao caso em que não há restrições monetárias, ou seja, em que todos os modos e transferências são considerados disponíveis para o usuário de transporte público, é também similar à do caso do limite de R\$ 5,00. Embora ela apresente um comportamento muito diferente da curva do limite de R\$ 4,70, por exemplo, ambas convergem para valores muito próximos a partir do limite de 90 minutos - o que poderia levar à conclusão equivocada de que custos monetários pouco afetam os níveis de desigualdade, caso a análise fosse conduzida apenas com estes tempos de viagem. Esta observação reforça a noção de que o resultado de avaliações de equidade não depende apenas do limite monetário ou do temporal, mas da interação entre eles. Os efeitos desta interação, por sua vez, são ditados por características próprias a cada área de estudo, como a configuração espacial da rede de transporte público, os atributos operacionais de cada modo, a política tarifária que dita as tarifas pagas pelos usuários e a co-localização espacial de moradia e oportunidades.

No caso específico do Rio, os resultados sugerem que políticas de transporte que visem diminuir as desigualdades de acessibilidade na cidade devem focar em melhorar e tornar mais inclusivo o acesso ao trem. Isto pode ser feito, por exemplo, diminuindo a tarifa deste modo ou passando a promover a integração tarifária entre o trem e os ônibus municipais oferecendo descontos significativos para a transferência entre esses modos (de forma similar ao que hoje é feito com transferências entre dois ônibus municipais). Isto faria com que indivíduos que hoje priorizem, por razões orçamentárias, modos mais baratos (como o ônibus municipal) passassem a utilizar o trem e a usufruir dos benefícios decorrentes de seu uso. Neste caso, é importante também reorganizar algumas linhas de ônibus de forma a torná-las, na prática, linhas alimentadoras dos corredores de trem.

A elaboração de políticas públicas deve levar em consideração não apenas critérios tidos como técnicos, mas também políticos e econômicos, entre outros. Todos esses fatores devem ser pesados, portanto, para que seja definida a política mais adequada, seja no caso do Rio ou no de qualquer outra localidade. Este trabalho, no entanto, deixa claro que, do ponto de vista metodológico, quaisquer análises de equidade e acessibilidade conduzidas no contexto da elaboração de uma política devem incorporar restrições de cunho monetário, sob o risco de não representar adequadamente o panorama da desigualdade nos transportes na área de estudo.

6 Conclusões

Neste trabalho buscou-se avaliar como a incorporação de restrições de custo monetário e de tempo de viagem de forma simultânea a uma medida de acessibilidade impacta análises de equidade baseadas na distribuição da acessibilidade. Os resultados apresentados confirmam a hipótese primária de que, por se tratarem de elementos não necessariamente correlacionados, a inclusão simultânea do custo monetário e do tempo de viagem a essas medidas de fato afeta os resultados e conclusões derivadas de análises de equidade. Os métodos usualmente utilizados na literatura de acessibilidade e equidade, portanto, ao considerarem exclusivamente restrições de tempo de viagem, podem gerar resultados pouco precisos que levem a conclusões pouco realistas.

Os efeitos da incorporação do custo monetário sobre análises de equidade, no entanto, não são triviais: os resultados desta dissertação mostram que para entendê-los é importante olhar não apenas para esse custo de forma isolada, mas para a interação entre restrições de custo monetário e de tempo de viagem. Os resultados, dessa forma, também confirmam a hipótese secundária: a incorporação do custo monetário a uma medida de acessibilidade não leva inevitavelmente a uma distribuição de acessibilidade menos (ou mais) equitativa. Na cidade do Rio, por exemplo, permitir que deslocamentos de metrô de R\$ 5,00 sejam realizados leva a um aumento substancial da desigualdade quando permitidas apenas viagens de até 30 minutos, mas pouco a altera, chegando até a diminuí-la ligeiramente, quando estende-se esse limite para duas horas (vide Figura 7).

Os resultados encontrados para o Rio de Janeiro não são diretamente transponíveis para outros contextos, mas destacam o papel que características dos sistemas de transporte e uso do solo exercem sobre os impactos da incorporação do custo monetário sobre desigualdades de acessibilidade. Os efeitos dessa incorporação dependem, em larga medida, de elementos como as políticas tarifárias que ditam o preço dos deslocamentos em cada cidade, as características operacionais de cada modo, a configuração espacial da rede de transporte público e a co-localização espacial da população e das oportunidades na área de estudo. Compreender e interpretar o resultado de análises de equidade conduzidas com diferentes combinações de limites de tempo de viagem e de custo monetário, portanto, requer que a devida atenção seja dedicada a esses elementos. Em última instância, são eles, e a sinergia entre eles, que regem como que a interação

entre restrições monetárias e temporais afetam as estimativas de acessibilidade e, consequentemente, as análises de equidade.

O estudo de caso conduzido nesta dissertação também serve para ilustrar que não incorporar restrições monetárias de forma explícita em uma medida de acessibilidade (ao, por exemplo, não estabelecer um limite de custo para as viagens) não deve ser visto como ignorar os efeitos de custos monetários sobre estimativas de acessibilidade. Ao contrário, deve ser entendido como partir do pressuposto irreal de que nenhum indivíduo da área de estudo enfrenta qualquer tipo de restrição orçamentária relacionada ao transporte. Ou seja, de que todas as pessoas possuem recursos financeiros infinitos para gastar com tarifas de transporte público. Este pressuposto é particularmente problemático em contextos de baixa renda e de grande desigualdade socioeconômica, onde grande parte da população enfrenta dificuldades para arcar com os custos do transporte e, consequentemente, molda seus deslocamentos diários de forma a superar esta adversidade. Mesmo em países tidos como desenvolvidos, contudo, esse pressuposto pode levar a conclusões e propostas de políticas descoladas da realidade de seus grupos populacionais mais pobres. Esse problema se torna ainda mais grave quando leva-se em conta o peso relativo das tarifas em relação à renda per capita na área de estudo - o que não foi feito neste trabalho, mas representa um avanço metodológico a ser considerado em estudos futuros, como comentado mais à frente.

Nesta dissertação também buscou-se compreender como a incorporação simultânea do custo monetário e do tempo de viagem a estimativas de acessibilidade pode complementar o diagnóstico das desigualdades de acesso a oportunidades na cidade do Rio, assim como as propostas de políticas que derivam dele. Os resultados mostram que, dentre todos os modos de transporte na cidade, o trem é o que apresenta maior potencial de mitigação de desigualdades de acessibilidade. Isto graças à sua alta velocidade operacional e à sua grande cobertura espacial, uma vez que seus corredores se estendem para alguns dos bairros mais pobres da cidade.

Embora estudos recentes tenham apontado para o papel do trem em garantir níveis de acessibilidade relativamente altos em determinadas regiões da cidade (CARNEIRO, TOLEDO, *et al.*, 2019, PEREIRA, BANISTER, *et al.*, 2019), até então nenhum trabalho havia identificado a importância deste modo na redução dos níveis de desigualdade no acesso a empregos. As análises desta dissertação tornam isto claro, e

graças às diversas combinações de limites de custo monetário e tempo de viagem, ajudam a traçar estratégias para combater esta desigualdade.

Como os corredores de trem já correm por algumas das regiões mais afastadas da cidade, investimentos na infraestrutura deste sistema fariam bem em focar na aquisição de material rodante e no aprimoramento do sistema de sinalização e controle, sem maior necessidade de investimento de grande porte na ampliação da malha ferroviária. Essas medidas podem contribuir para que sejam feitos ajustes na frequência dos diferentes ramais e na provisão de linhas expressas entre regiões periféricas e o centro da cidade, o que por sua vez pode resultar em menores tempos de viagem para algumas das parcelas mais pobres da população carioca. O que as análises deste trabalho deixam claro, no entanto, é que melhores condições de acesso a empregos para os mais pobres podem ser alcançadas apenas com mudanças na estrutura tarifária vigente no município, mesmo que nenhum ajuste seja feito na operação dos serviços do sistema de trens. E que, ainda, alterações na operação podem ser pouco efetivas caso não sejam acompanhadas de mudanças nas tarifas.

Este último ponto está relacionado ao fato de que de pouco serve uma redução nos tempos de viagem do trem para uma pessoa que não consegue arcar com os custos de sua tarifa. Tal indivíduo continuaria relegado a modos mais baratos e lentos para realizar seus deslocamentos. É importante, portanto, fazer do trem uma opção economicamente mais atrativa para os usuários de transporte público. Uma possível medida nesse sentido seria a de equiparar o preço deste modo ao de alternativas atualmente mais baratas, como os ônibus municipais e o BRT. Mesmo esta medida, porém, poderia ter efeitos limitados: como mostrado na Figura 8, os benefícios obtidos do uso do trem por parte de classes socioeconômicas mais baixas se esgotam rapidamente, e por volta da marca de 50 minutos de viagem as reduções nos níveis de desigualdade se equiparam às do cenário em que apenas deslocamentos a pé são considerados. É necessário, dessa forma, promover a integração tarifária entre o trem e os demais modos da cidade, principalmente aqueles que possuem maior capilaridade na rede viária e que poderiam ser utilizados para deslocamentos de última/primeira milha a partir de estações do trem, como o ônibus municipal.

Ações neste sentido invariavelmente passam por mudanças no arranjo institucional do sistema de transporte público da cidade e pela reestruturação dos descontos oferecidos à

população em transferências entre diferentes modos. Como discutido no Capítulo 3, a falta de articulação entre os governos municipal e estadual tem como uma de suas principais consequências o encarecimento de viagens compostas por modos de média e alta capacidade, decorrente da falta de integração tarifária desses modos com modos de maior capilaridade. À exceção de transferências entre o BRT e os ônibus municipais, nenhuma outra transferência do tipo é agraciada com descontos. Pelo uso do trem, por exemplo, apenas são oferecidos descontos quando da transferência com ônibus intermunicipais (não considerados nas análises deste trabalho, e de maior relevância para deslocamentos entre cidades) e com o metrô. Neste último caso, viagens entre os dois modos passam a custar R\$ 8,55, em vez de R\$ 9,75, soma de suas tarifas integrais, mas este desconto pouco afeta os níveis de desigualdade no município, como pode ser visto na Figura 7. Cabe ressaltar que à transferência entre ônibus municipais e o trem, responsável por uma significativa redução nos níveis de desigualdade em diversos limites de tempo de viagem, não é oferecido nenhum desconto. Em contraste, transferências entre o BRT e o metrô recebem descontos consideráveis (viagens que custariam R\$ 9,05 passam a custar R\$ 7,10) e transferências entre duas linhas de ônibus saem pelo preço de uma única linha, mesmo que estes cenários sejam, de forma geral, mais benéficos aos mais ricos do que aos mais pobres. A política tarifária atualmente vigente no Rio de Janeiro, portanto, tende a privilegiar padrões de deslocamentos que melhor servem às parcelas mais abastadas de sua população.

Este estudo, no entanto, não buscou discutir o conjunto de descontos que deveriam ser oferecidos mediante o uso cartão Riocard Mais para minimizar os níveis de desigualdade de acessibilidade no município. Embora seus resultados sugiram que a política tarifária vigente na cidade beneficie mais os mais ricos do que os mais pobres, e que o subsídio de transferências entre o trem e outros modos, especialmente o ônibus municipal, seja uma boa forma de mitigar este problema, a elaboração de tal conjunto de regras e dos valores dos descontos oferecidos a cada transferência fica a cargo de trabalhos futuros. Ademais, a implementação de tais regras e descontos também fica sujeita a critérios econômicos, como a saúde financeira da operação de cada modo, legais, relacionados à previsão destes descontos em termos contratuais, e de diversas outras naturezas. De um ponto de vista técnico, no entanto, estudos de viabilidade de políticas tarifárias podem se beneficiar do uso do procedimento metodológico proposto nesta dissertação, que permite avaliar os impactos sociais dessas políticas.

6.1 Limitações e recomendações para trabalhos futuros

A despeito dos avanços metodológicos propostos neste trabalho, o estudo de caso conduzido nesta dissertação esbarra em algumas limitações. Em primeiro lugar, olha-se apenas para os custos absolutos de viagens de transporte público, e não para os custos relativos à renda de cada indivíduo - ou seja, ignora-se que pessoas de alta renda possuem maiores quantias de dinheiro para destinar ao transporte do que pessoas de baixa renda. A capacidade que diferentes indivíduos têm de arcar com os custos do transporte público é uma questão central na discussão de justiça nos transportes, e exerce um papel decisivo sobre os padrões de viagens e sobre a distribuição espacial da acessibilidade, principalmente entre os grupos socioeconômicos mais vulneráveis. Como este trabalho mostra que mesmo custos monetários absolutos podem ter grande impacto sobre os resultados de avaliações de equidade, pode-se esperar que incorporar esses custos como uma percentagem da renda total de cada indivíduo destaque ainda mais as desigualdades de acesso a oportunidades. Estudos futuros devem buscar incluir este elemento em suas estimativas e análises.

Outra limitação consiste no fato de que as análises conduzidas nesta dissertação se apoiam sobre a existência de limites de tempo de viagem e de custo monetário. A existência de tais limites, no entanto, diz respeito apenas às medidas de oportunidades cumulativas, logo essas análises não podem ser facilmente adaptadas para outros tipos de medidas, como as gravitacionais e competitivas. Embora os resultados deste trabalho sejam fortes indicadores de que restrições de custo monetário afetam estimativas de acessibilidade realizadas com as mais variadas medidas, mais estudos são necessários para compreender o impacto deste custo sobre estimativas e análises que dependam de outras medidas de acessibilidade.

Os níveis de desigualdade, por sua vez, foram avaliadas sob uma ótica fundamentalmente igualitarista: quanto maior a Razão de Palma pior, uma vez que maior seria o desvio em relação ao caso em que ricos e pobres estivessem em pé de igualdade. A caracterização da equidade nos transportes feita no Capítulo 2, contudo, sugere que devam ser observadas também condições mínimas de acesso a atividades essenciais, o que não foi feito neste trabalho. A incorporação de restrições de custos

monetários a uma medida leva a níveis de acessibilidade menores do que quando são consideradas apenas restrições de tempo de viagem, porém se esta diminuição resulta em níveis de acessibilidade menores do que o considerado aceitável depende do contexto em que se realiza a pesquisa. Não é claro, na cidade do Rio, o que seria este nível aceitável em se tratando de acessibilidade ao emprego, portanto uma possível linha de trabalho diz respeito à discussão de tais condições mínimas de acesso a diferentes tipos de oportunidades para posterior comparação com os níveis observados, levando em consideração restrições monetárias.

Por fim, a incorporação de custos monetários a medidas de acessibilidade traz à tona alguns desafios operacionais e computacionais. Dentre eles, destaca-se o processo de cálculo de matrizes de tempo e custo de viagem. A maioria dos programas que realizam o cálculo dessas matrizes parte das premissas de que usuários de transporte público têm acesso a recursos financeiros ilimitados e têm conhecimento irrestrito da rede de transporte público, logo sempre utilizam a rota mais rápida para percorrer o caminho entre dois pontos. Nenhuma das duas premissas, no entanto, é verdadeira. Buscando evitar tais pressupostos, este trabalho calculou matrizes de tempo de viagem (e de custo monetário) a partir de itinerários detalhados entre uma origem e um destino, mas esta abordagem apresenta algumas limitações: o cálculo de itinerários detalhados é muito mais intensivo em recursos, tanto em termos de memória quanto de tempo; a precisão das matrizes geradas a partir dos itinerários, em relação às rotas não-ótimas em termos de tempo de viagem, fica sujeita ao número de itinerários distintos calculados entre dois pontos; e mesmo que um grande número de itinerários distintos seja usado no cálculo dessas matrizes (no caso desta dissertação, até 20), não há a garantia que ao final desse processo elas representem adequadamente todas as rotas não-ótimas em termos de tempo de viagem, pois a escolha dos itinerários retornados por parte do programa de roteamento fica sujeita a critérios que podem ignorar viagens muito lentas, porém possivelmente mais baratas que as demais. O recente trabalho de Conway e Stewart (2019) descreve um procedimento altamente otimizado que elimina esta limitação ao retornar todos os itinerários que apresentem alguma vantagem frente aos demais, seja em relação à sua duração ou ao seu preço. A implementação deste procedimento, contudo, não é simples, o que faz com que pesquisadores e agências de transporte estejam menos propensos a utilizá-lo. A implementação deste algoritmo em mais programas de roteamento, bem como a publicação de guias de como adaptar esses

programas a diferentes estruturas tarifárias, é imprescindível para tornar trabalhos que incorporem custos monetários mais populares.

As análises conduzidas nesta dissertação mostram que conclusões e propostas de políticas públicas que derivem de análises de equidade podem ser afetadas de maneira pouco intuitiva pela interação de restrições de custo monetário e de tempo de viagem. Não obstante, os resultados desta pesquisa não podem ser facilmente generalizáveis para outros contextos, uma vez que são decorrentes da interação complexa entre a organização espacial, características operacionais e política tarifária do sistema de transporte público da cidade do Rio e a co-localização espacial da população e das oportunidades de emprego no município. Mais trabalhos são necessários para compreender como e em que medida diferentes políticas tarifárias e combinações de limites temporais e monetários impactam análises de equidade nos transportes em diferentes contextos.

Referências bibliográficas

ALLEN, J., FARBER, S. "Sizing up transport poverty: A national scale accounting of low-income households suffering from inaccessibility in Canada, and what to do about it", **Transport Policy**, v. 74, p. 214–223, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.11.018. .

ARBEX, R., CUNHA, C. B. "Estimating the influence of crowding and travel time variability on accessibility to jobs in a large public transport network using smart card big data", **Journal of Transport Geography**, v. 85, p. 102671, maio 2020. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102671. .

BANISTER, D. "The sustainable mobility paradigm", **Transport Policy**, v. 15, n. 2, p. 73–80, mar. 2008. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.10.005. .

BARBOZA, M. H. C., CARNEIRO, M. S., FALAVIGNA, C., *et al.* "Balancing time: Using a new accessibility measure in Rio de Janeiro", **Journal of Transport Geography**, v. 90, p. 102924, jan. 2021. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102924. .

BERGER, G., FEINDT, P. H., HOLDEN, E., *et al.* "Sustainable Mobility—Challenges for a Complex Transition", **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 16, n. 3, p. 303–320, 3 jul. 2014. DOI: 10.1080/1523908X.2014.954077. .

BITTENCOURT, T. A., GIANNOTTI, M. "The unequal impacts of time, cost and transfer accessibility on cities, classes and races", **Cities**, v. 116, p. 103257, set. 2021. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103257. .

BITTENCOURT, T. A., GIANNOTTI, M., MARQUES, E. "Cumulative (and self-reinforcing) spatial inequalities: Interactions between accessibility and segregation in four Brazilian metropolises", **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, p. 239980832095842, 23 set. 2020. DOI: 10.1177/2399808320958426. .

BOCAREJO, J. P., PORTILLA, I. J., VELÁSQUEZ, J. M., *et al.* "An innovative transit system and its impact on low income users: the case of the Metrocable in Medellín", **Journal of Transport Geography**, v. 39, p. 49–61, jul. 2014. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2014.06.018. .

BOISJOLY, G., SERRA, B., OLIVEIRA, G. T., *et al.* "Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil", **Journal of Transport Geography**, v. 82, p. 102551, jan. 2020. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102551. .

BRASIL. **Lei nº 7.418, de 16 de dezembro de 1985.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7418.htm. Acesso em: 26 maio 2021. , 1985

BRODSKY, I. **H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index.** 27 jun. 2018. Uber Engineering Blog. Disponível em: <https://eng.uber.com/h3/>. Acesso em: 22 abr. 2021.

CARNEIRO, M., TOLEDO, J., AURÉLIO, M., *et al.* "Espraiamento urbano e exclusão social. Uma análise da acessibilidade dos moradores da cidade do Rio de Janeiro ao mercado de trabalho", **EURE (Santiago)**, v. 45, n. 136, p. 51–70, set. 2019. DOI: 10.4067/S0250-71612019000300051. .

CONWAY, M. W., STEWART, A. F. "Getting Charlie off the MTA: a multiobjective optimization method to account for cost constraints in public transit accessibility metrics", **International Journal of Geographical Information Science**, v. 33, n. 9, p. 1759–1787, 2 set. 2019. DOI: 10.1080/13658816.2019.1605075. .

CUI, B., BOISJOLY, G., EL-GENEIDY, A., *et al.* "Accessibility and the journey to work through the lens of equity", **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 269–277, jan. 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.12.003. .

DALVI, M. Q., MARTIN, K. M. "The measurement of accessibility: Some preliminary results", **Transportation**, v. 5, p. 17–42, mar. 1976. DOI: 10.1007/BF00165245. .

DATASUS. **Índice de Gini da renda domiciliar per capita - Brasil.** [S.d.]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/censo/cnv/ginibr.def>. Acesso em: 2 jun. 2021.

DE JONG, G., DALY, A., PIETERS, M., *et al.* "The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results", **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n. 9, p. 874–889, nov. 2007. DOI: 10.1016/j.tra.2006.10.002. .

DI CIOMMO, F., SHIFTAN, Y. "Transport equity analysis", **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 139–151, 4 mar. 2017. DOI: 10.1080/01441647.2017.1278647. .

DRIVER, J., "The History of Utilitarianism". In: ZALTA, E. N. (Org.), **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, Winter 2014 ed. [S.l.], Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2014. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/utilitarianism-history/>.

EL-GENEIDY, A., LEVINSON, D., DIAB, E., *et al.* "The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost", **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 91, p. 302–316, set. 2016. DOI: 10.1016/j.tra.2016.07.003. .

GEURS, K. T., VAN WEE, B. "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions", **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127–140, jun. 2004. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005. .

GOODWIN, P. B. "Generalised time and the problem of equity in transport studies", **Transportation**, v. 3, p. 1–23, abr. 1974. DOI: 10.1007/BF02351839. .

GUZMAN, L. A., OVIEDO, D. "Accessibility, affordability and equity: Assessing ‘pro-poor’ public transport subsidies in Bogotá", **Transport Policy**, v. 68, p. 37–51, set. 2018. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.04.012. .

HÄGERSTRAAND, T. "What about people in regional science?". In: **Ninth European Congress of the Regional Science Association**, 24, 1970. **Anais** [...] [S.l.: s.n.], 1970. p. 7–24. DOI: 10.1111/j.1435-5597.1970.tb01464.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1435-5597.1970.tb01464.x>. Acesso em: 1 abr. 2021.

HANDY, S. L. **Accessibility- vs. Mobility-Enhancing Strategies for Addressing Automobile Dependence in the U.S.** , Recent Work. [S.l.], UC Davis: Institute of Transportation Studies, 2002. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/5kn4s4pb>.

HANDY, S. L., NIEMEIER, D. A. "Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives", **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 29, n. 7, p. 1175–1194, jul. 1997. DOI: 10.1068/a291175. .

HANSEN, W. G. "How Accessibility Shapes Land Use", **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, n. 2, p. 73–76, maio 1959. DOI: 10.1080/01944365908978307. .

HICKMAN, R., HALL, P., BANISTER, D. "Planning more for sustainable mobility", **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 210–219, dez. 2013. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.07.004. .

IBGE. **Produto interno bruto dos municípios 2018**. Rio de Janeiro, IBGE, 2020. (Contas Nacionais, 78).

IGLESIAS, V., GIRALDEZ, F., TIZNADO-AITKEN, I., *et al.* "How Uneven is the Urban Mobility Playing Field? Inequalities among Socioeconomic Groups in Santiago De Chile", **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2673, n. 11, p. 59–70, nov. 2019. DOI: 10.1177/0361198119849588. .

INSTITUTO PEREIRA PASSOS. **data.rio: Informações sobre a cidade - Tabelas 728, 1736, 3603**. 2021. data.rio. Disponível em: <https://www.data.rio/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

ITDP BRASIL. **O carioca e o transporte na cidade**. . [S.l: s.n.], out. 2020. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2020/10/ITDP-Fatos-e-Propostas-para-a-mobilidade-no-Rio-de-Janeiro.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2020.

KARNER, A., NIEMEIER, D. "Civil rights guidance and equity analysis methods for regional transportation plans: a critical review of literature and practice", **Journal of Transport Geography**, v. 33, p. 126–134, dez. 2013. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.09.017. .

KAUFMANN, V., BERGMAN, M. M., JOYE, D. "Motility: mobility as capital", **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 28, n. 4, p. 745–756, dez. 2004. DOI: 10.1111/j.0309-1317.2004.00549.x. .

KELOBONYE, K., MCCARNEY, G., XIA, J. (Cecilia), *et al.* "Relative accessibility analysis for key land uses: A spatial equity perspective", **Journal of Transport Geography**, v. 75, p. 82–93, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.01.015. .

KNEIB, E. C., PORTUGAL, L. da S., "Caracterização da acessibilidade e suas relações com a mobilidade e o desenvolvimento". In: PORTUGAL, L. DA S., **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**, 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2017. p. 65–87.

KOCKELMAN, K. M. "Travel Behavior as Function of Accessibility, Land Use Mixing, and Land Use Balance: Evidence from San Francisco Bay Area", **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1607, n. 1, p. 116–125, jan. 1997. DOI: 10.3141/1607-16. .

KWAN, M.-P. "Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework", **Geographical Analysis**, v. 30, n. 3, p. 191–216, 1 jul. 1998. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1998.tb00396.x. .

LAGO, L. C. do. **Desigualdades e segregação na metrópole: o Rio de Janeiro em tempo de crise**. 2. ed. Rio de Janeiro, Letra Capital, 2015.

LIONJANGA, N., VENTER, C. "Does public transport accessibility enhance subjective well-being? A study of the City of Johannesburg", **Research in Transportation Economics**, v. 69, p. 523–535, set. 2018. DOI: 10.1016/j.retrec.2018.07.011. .

LIU, D., KWAN, M. "Measuring Job Accessibility Through Integrating Travel Time, Transit Fare And Income: A Study Of The Chicago Metropolitan Area", **Tijdschrift voor economische en sociale geografie**, v. 111, n. 4, p. 671–685, set. 2020. DOI: 10.1111/tesg.12415. .

LUCAS, K. "Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK", **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 40, n. 10, p. 801–809, dez. 2006. DOI: 10.1016/j.tra.2005.12.005. .

LUCAS, K. "Transport and social exclusion: Where are we now?", **Transport Policy**, v. 20, p. 105–113, mar. 2012. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.01.013. .

LUCAS, K., VAN WEE, B., MAAT, K. "A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches", **Transportation**, v. 43, n. 3, p. 473–490, maio 2016. DOI: 10.1007/s11116-015-9585-2. .

MA, Z. (Eric), MASOUD, A. R., IDRIS, A. O. "Modeling the Impact of Transit Fare Change on Passengers' Accessibility", **Transportation Research Record: Journal of**

the Transportation Research Board, v. 2652, n. 1, p. 78–86, jan. 2017. DOI: 10.3141/2652-09. .

MANAUGH, K., BADAMI, M. G., EL-GENEIDY, A. M. "Integrating social equity into urban transportation planning: A critical evaluation of equity objectives and measures in transportation plans in North America", **Transport Policy**, v. 37, p. 167–176, jan. 2015. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.09.013. .

MARTENS, K. "Justice in transport as justice in accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector", **Transportation**, v. 39, n. 6, p. 1035–1053, nov. 2012. DOI: 10.1007/s11116-012-9388-7. .

MARTENS, K. **Transport Justice**. [S.l.], Routledge, 2016. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781317599586>. Acesso em: 1 jul. 2021.

MARTENS, K., "Why Accessibility Measurement is Not Merely an Option, but an Absolute Necessity". In: SILVA, C., BERTOLINI, L., PINTO, N. (Org.), **Designing Accessibility Instruments: Lessons on Their Usability for Integrated Land Use and Transport Planning Practices**, 1. ed. New York, NY : Routledge, 2019., Routledge, 2019. p. 37–51. DOI: 10.4324/9781315463612-4. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781315463605/chapters/10.4324/9781315463612-4>. Acesso em: 25 fev. 2021.

MARTENS, K., DI CIOMMO, F. "Travel time savings, accessibility gains and equity effects in cost–benefit analysis", **Transport Reviews**, tex.ids= martens2017travel, v. 37, n. 2, p. 152–169, 4 mar. 2017. DOI: 10.1080/01441647.2016.1276642. .

MARTENS, K., GOLUB, A., "A justice-theoretic exploration of accessibility measures". In: GEURS, K., KRIZEK, K., REGGIANI, A., **Accessibility Analysis and Transport Planning**, [S.l.], Edward Elgar Publishing, 2012. p. 195–210. DOI: 10.4337/9781781000113.00020. Disponível em: <http://www.elgaronline.com/view/9781781000106.00020.xml>. Acesso em: 3 dez. 2020.

MELLO, A. J. R. **A acessibilidade ao emprego e sua relação com a mobilidade e o desenvolvimento sustentáveis: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2015. 223 f. Doutorado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:

http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/teses/2015/ANDREA_TESE_26_JUNHO.pdf.

MILLER, H. "Place-Based versus People-Based Geographic Information Science", **Geography Compass**, v. 1, n. 3, p. 503–535, maio 2007. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2007.00025.x. .

NAHMIAS-BIRAN, B., MARTENS, K., SHIFTAN, Y. "Integrating equity in transportation project assessment: a philosophical exploration and its practical implications", **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 192–210, 4 mar. 2017. DOI: 10.1080/01441647.2017.1276604. .

NEUTENS, T., SCHWANEN, T., WITLOX, F., *et al.* "Equity of Urban Service Delivery: A Comparison of Different Accessibility Measures", **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 42, n. 7, p. 1613–1635, jul. 2010. DOI: 10.1068/a4230. .

NIEMEIER, D. A. "Accessibility: an evaluation using consumer welfare", **Transportation**, v. 24, n. 4, p. 377–396, 1997. DOI: 10.1023/A:1004914803019. .

OVIEDO, D., SCHOLL, L., INNAO, M., *et al.* "Do Bus Rapid Transit Systems Improve Accessibility to Job Opportunities for the Poor? The Case of Lima, Peru", **Sustainability**, v. 11, n. 10, p. 2795, 16 maio 2019. DOI: 10.3390/su11102795. .

PÁEZ, A., SCOTT, D. M., MORENCY, C. "Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators", **Journal of Transport Geography**, v. 25, p. 141–153, nov. 2012. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016. .

PALMA, J. G. "Homogeneous Middles vs. Heterogeneous Tails, and the End of the 'Inverted-U': It's All About the Share of the Rich", **Development and Change**, v. 42, n. 1, p. 87–153, jan. 2011. DOI: 10.1111/j.1467-7660.2011.01694.x. .

PEDRO, L. M., DA SILVA, M. A. V., PORTUGAL, L. da S., "Desenvolvimento e mobilidade sustentáveis". In: PORTUGAL, L. DA S., **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**, 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2017. p. 65–87.

PEREIRA, R. H. M. "Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de

Janeiro", **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 321–332, jan. 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.12.005. .

PEREIRA, R. H. M. "Transport legacy of mega-events and the redistribution of accessibility to urban destinations", **Cities**, v. 81, p. 45–60, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.cities.2018.03.013. .

PEREIRA, R. H. M., BANISTER, D., SCHWANEN, T., *et al.* "Distributional effects of transport policies on inequalities in access to opportunities in Rio de Janeiro", **Journal of Transport and Land Use**, v. 12, n. 1, 11 out. 2019. DOI: 10.5198/jtlu.2019.1523. Disponível em: <https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/1523>. Acesso em: 3 dez. 2020.

PEREIRA, R. H. M., BRAGA, C. K. V., SERRA, B., *et al.* "Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras, 2019", **Texto para Discussão IPEA**, v. 2535, p. 58, 2019. .

PEREIRA, R. H. M., KARNER, A., "Transportation Equity". **International Encyclopedia of Transportation**, [S.l.], Elsevier, 2021. p. 271–277. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10053-3. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081026717100533>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PEREIRA, R. H. M., SCHWANEN, T., BANISTER, D. "Distributive justice and equity in transportation", **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 170–191, 4 mar. 2017. DOI: 10.1080/01441647.2016.1257660. .

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Município inicia intervenção no BRT e planeja a conclusão da Transbrasil**. 11 maio 2021. Disponível em: <https://prefeitura.rio/intervencao-brt/municipio-inicia-intervencao-do-brt-e-planeja-conclusao-da-transbrasil/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 44728, de 12 de julho de 2018.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://smaonline.rio.rj.gov.br/ConLegis/ato.asp?56761>. , 2018a

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 46243, de 07 de fevereiro de 2018.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=356521>. Acesso em: 26 maio 2021b. , 2018

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 5211, de 1º de julho de 2010.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4800832/4138120/Decreto_32842_2010.pdf. , 2010

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 5628, de 29 de dezembro de 2009.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.silep.planejamento.rj.gov.br/lei_5_628-_29122009.htm. , 2009

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 8297, de 21 de janeiro de 2019.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-8297-2019-rj_374205.html. , 2019

RIO DE JANEIRO. **Painéis de acompanhamento da operação dos ônibus.** [S.d.]. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/exibenoticias?id=12350171>. Acesso em: 26 maio 2021.

RIOCARD MAIS. **Tarifa.** [S.d.]. Disponível em: <https://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas>. Acesso em: 22 dez. 2020.

RODRIGUEZ, C., PERALTA-QUIRÓS, T., GUZMAN, L. A., *et al.* "Accessibility, Affordability, and Addressing Informal Services in Bus Reform: Lessons from Bogotá, Colombia", **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2634, n. 1, p. 35–42, jan. 2017. DOI: 10.3141/2634-06. .

SHEN, Q. "Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers", **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 25, n. 3, p. 345–365, 1998. DOI: 10.1068/b250345. .

SHIRMOHAMMADLI, A., LOUEN, C., VALLÉE, D. "Exploring mobility equity in a society undergoing changes in travel behavior: A case study of Aachen, Germany", **Transport Policy**, v. 46, p. 32–39, fev. 2016. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.11.006. .

SILVEIRA, D. **Desemprego no RJ bate recorde histórico e atinge 1,6 milhão no 1º trimestre do ano, aponta IBGE**. 27 maio 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2021/05/27/desemprego-no-rj-bate-recorde-historico-e-atinge-16-milhao-no-1o-trimestre-do-ano-aponta-ibge.ghtml>.

Acesso em: 15 jul. 2021.

STĘPNIAK, M., PRITCHARD, J. P., GEURS, K. T., *et al.* "The impact of temporal resolution on public transport accessibility measurement: Review and case study in Poland", **Journal of Transport Geography**, v. 75, p. 8–24, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.01.007. .

VAN DIJK, J. T., KRYGSMAN, S., DE JONG, T. "Toward spatial justice: The spatial equity effects of a toll road in Cape Town, South Africa", **Journal of Transport and Land Use**, 4 ago. 2015. DOI: 10.5198/jtlu.2015.555. Disponível em: <https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/555>. Acesso em: 3 dez. 2020.

VAN WEE, B. "Accessible accessibility research challenges", **Journal of Transport Geography**, v. 51, p. 9–16, fev. 2016. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.10.018. .

VAN WEE, B., GEURS, K. "Discussing Equity and Social Exclusion in Accessibility Evaluations", **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 11, n. 4, 1 set. 2011. DOI: 10.18757/EJTIR.2011.11.4.2940. Disponível em: <https://journals.open.tudelft.nl/index.php/ejtir/article/view/2940>. Acesso em: 15 mar. 2021.

VENTER, C. "Assessing the potential of bus rapid transit-led network restructuring for enhancing affordable access to employment – The case of Johannesburg's Corridors of Freedom", **Research in Transportation Economics**, v. 59, p. 441–449, nov. 2016. DOI: 10.1016/j.retrec.2016.05.006. .

VENTER, C. "Transport expenditure and affordability: The cost of being mobile", **Development Southern Africa**, v. 28, n. 1, p. 121–140, mar. 2011. DOI: 10.1080/0376835X.2011.545174. .

Apêndice

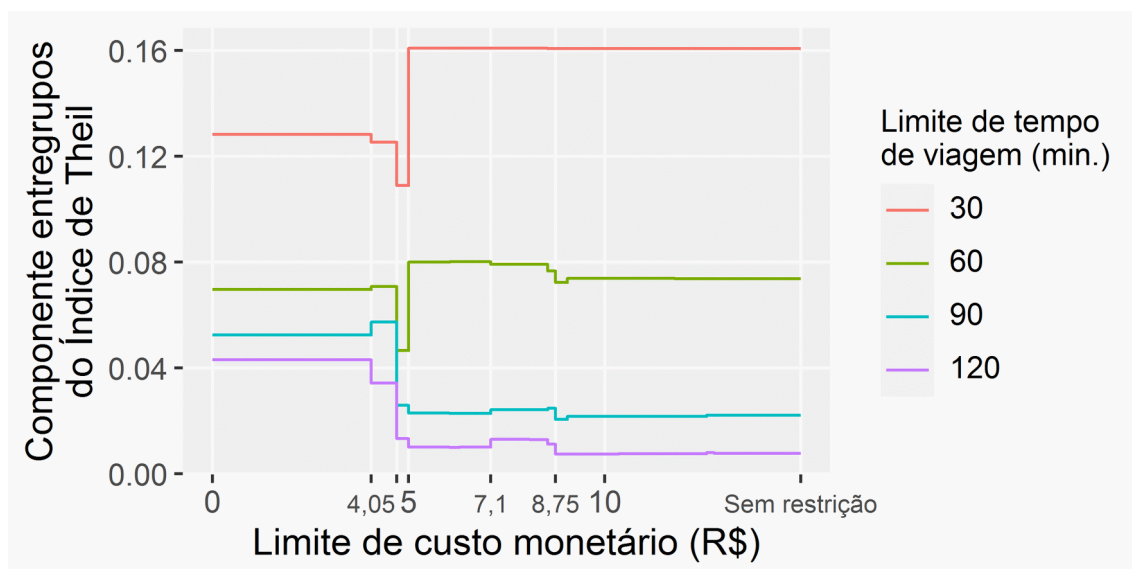


Figura 1A - Variação do componente entregrupos do Índice de Theil para cada limite de tempo de viagem, como um resultado de estimar a acessibilidade com diferentes limites de custo monetário. Rio de Janeiro, 2018

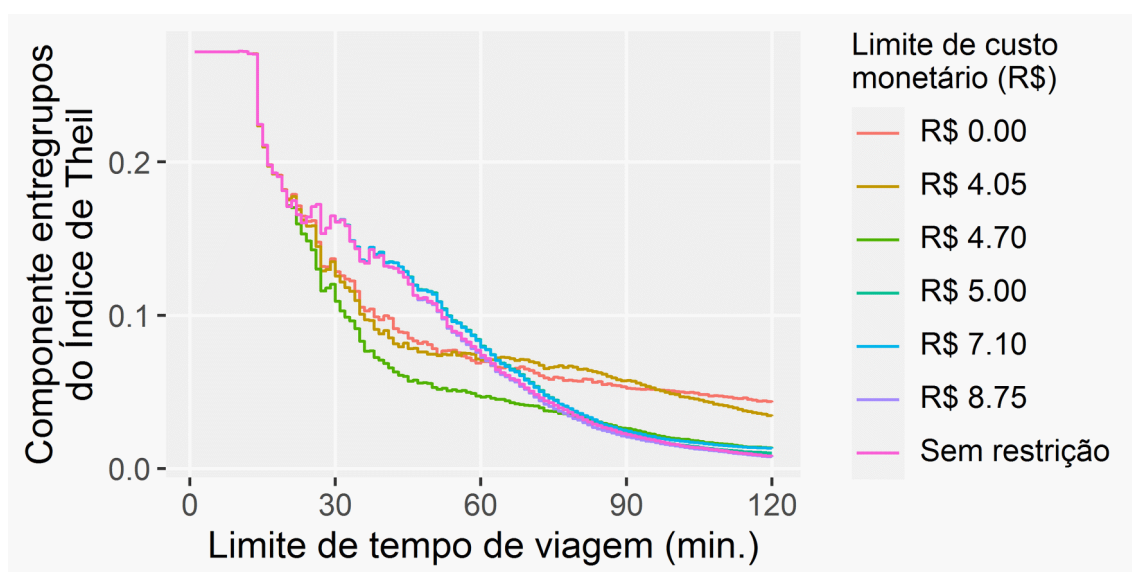


Figura 2A - Variação do componente entregrupos do Índice de Theil para cada limite de custo monetário, como um resultado de estimar a acessibilidade com diferentes limites de tempo de viagem. Rio de Janeiro, 2018