



METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA RESILIÊNCIA ENERGÉTICA DO
TRANSPORTE PÚBLICO POR MEIO DE BILHETAGEM
GEORREFERENCIADA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DO RIO DE
JANEIRO

Rafael Ribeiro Falcão da Silva

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

Orientador: Matheus Henrique de Sousa
Oliveira

Rio de Janeiro
Abril de 2024

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA RESILIÊNCIA ENERGÉTICA DO
TRANSPORTE PÚBLICO POR MEIO DE BILHETAGEM
GEORREFERENCIADA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DO RIO DE
JANEIRO

Rafael Ribeiro Falcão da Silva

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.

Orientador: Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Aprovada por: Prof. Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Prof. Fábio Duarte de Araujo Silva

Prof. Lino Guimarães Marujo

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2024

Silva, Rafael Ribeiro Falcão da

Metodologia para Análise da Resiliência Energética do Transporte Público por Meio de Bilhetagem Georreferenciada: Estudo de Caso do Município do Rio De Janeiro / Rafael Ribeiro Falcão da Silva – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024.

XII, 73 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 65 - 70.

1. Resiliência 2. Transporte Público 3. Combustíveis Fósseis I. Oliveira, Matheus Henrique de Sousa. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Karla Ribeiro, por todo o apoio durante os meus quase 27 anos de vida. Espero que um dia eu possa te dar o mesmo orgulho que eu sinto de você.

Aos meus amigos, Felipe Medeiros, João Pedro Urbano, Luiza Dias e Vitor Rezende, obrigado por serem escuta e conselho, minha trajetória acadêmica foi muito mais leve graças a vocês.

Aos professores Licínio Portugal, Laura Bahiense, Glaydstton Ribeiro e Marcelino Aurélio, obrigado por tantos ensinamentos durante os últimos dois anos, tenho certeza que saio um profissional e cidadão melhor e mais consciente.

À professora Eunice Horácio que acompanha minha trajetória na área de transportes desde a graduação, obrigado por sempre acreditar em mim e me incentivar.

À minha irmã, Keren Ribeiro, e Matheus Silva, obrigado por tornarem o mundo da programação mais fácil, parte desse trabalho não seria possível sem o apoio de vocês.

À professora Marina Baltar, obrigado pelo apoio acadêmico e emocional. Ao professor Antônio Néelson Rodrigues, obrigado pelos ensinamentos para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao professor e orientador, Matheus Oliveira, obrigado por confiar em mim e valorizar meu trabalho. Sem suas orientações esta pesquisa teria um rumo completamente diferente. Sou muito grato pela sua dedicação e apoio desde o primeiro trimestre do mestrado.

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

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA RESILIÊNCIA ENERGÉTICA DO
TRANSPORTE PÚBLICO POR MEIO DE BILHETAGEM
GEORREFERENCIADA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DO RIO DE
JANEIRO

Rafael Ribeiro Falcão da Silva

Abril/2024

Orientador: Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Programa: Engenharia de Transportes

A resiliência é a capacidade de um sistema persistir, adaptar, transformar e absorver impactos quando em contato com adversidades (Gaitanidou, Tsami e Bekiaris, 2017). Ao considerar que a maioria dos deslocamentos no espaço urbano são realizados por meio da queima de combustíveis fósseis e que trata-se de uma fonte de energia não renovável é importante entender a vulnerabilidade do transporte público em relação a essa dependência e como isso afeta a mobilidade urbana (Azolin, Rodrigues da Silva e Pinto, 2020). Dessa forma, o objetivo desse trabalho é elaborar uma metodologia para análise da resiliência energética do transporte público de uma região por meio do uso de dados de bilhetagem georreferenciada, considerando a caminhada e outros modos não movidos por combustíveis fósseis como solução para a manutenção desses deslocamentos. Para mais, também é possível testar diferentes cenários de incremento de infraestrutura de modo a analisar sua viabilidade em relação ao nível de melhoria das condições atuais de resiliência. Para isso, foram utilizados os conceitos abordados em Folke et al. (2010) para classificar os deslocamentos em persistentes (que não seriam impactados pelo contexto adverso), adaptáveis (que teriam condições de modificar seu padrão para serem realizados) e transformáveis (que não poderiam ser realizados nas condições de infraestrutura existentes). A metodologia foi validada com aplicação no estudo de caso do município do Rio de Janeiro onde foi possível criar um diagnóstico da rede atual considerando os modos elétricos disponíveis (metrô, trem e VLT) e ainda a proposta de política pública de eletrificação do BRT como medida para

a melhoria dos índices de resiliência. Como resultado, a metodologia mostrou-se como um importante aliado no entendimento das vulnerabilidades do sistema de transporte público em relação a escassez de combustíveis fósseis, auxiliando no processo de tomada de decisão por parte dos planejadores e trouxe uma análise quantitativa que por vezes se limita a uma visão mais teórica da discussão da resiliência.

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

METHODOLOGY FOR ANALYSIS OF THE ENERGY RESILIENCE OF PUBLIC TRANSPORT USING GEOREFERENCED TICKETTING: CASE STUDY OF RIO DE JANEIRO

Rafael Ribeiro Falcão da Silva

April/2024

Advisor: Matheus Henrique de Sousa Oliveira

Department: Transportation Engineering

Resilience is the ability of a system to persist, adapt, transform and absorb impacts when in contact with adversity (Gaitanidou, Tsami and Bekiaris, 2017). When considering that the majority of movements in urban space are carried out through the burning of fossil fuels and that it is a non-renewable energy source, it is important to understand the vulnerability of public transport in relation to this dependence and how it affects mobility. urban (Azolin, Rodrigues da Silva and Pinto, 2020). Therefore, the objective of this work is to develop a methodology for analyzing the energy resilience of public transport in a region through the use of georeferenced ticketing data, considering walking and other modes not powered by such energy sources. as a solution for maintaining these travels. Furthermore, it is also possible to test different infrastructure increase scenarios in order to analyze their feasibility in relation to the level of improvement of current resilience conditions. For this, the concepts discussed in Folke et al. (2010) was used to classify travels as persistent (which would not be impacted by the adverse context), adaptable (which would be able to modify their pattern to be carried out) and transformable (which could not be carried out under existing infrastructure conditions). The methodology was validated by applying it to the case study of the city of Rio de Janeiro, where it was possible to create a diagnosis of the current transport network considering the available electric modes (subway, train and VLT) and also the proposed public policy for BRT electrification as a measure. to improve resilience indices. As a result, the methodology proved to be an important ally in understanding the vulnerabilities of the public transport system in relation to the scarcity of fossil fuels, assisting in the decision-making process on the part of planners and bringing a quantitative analysis that is sometimes limited to a more theoretical view of the discussion of resilience.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Justificativa	11
1.2. Problema de pesquisa	11
1.3. Objetivos do trabalho	12
1.4. Estrutura da dissertação	12
2. USO DE DADOS NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE	13
2.1. Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE)	14
2.2. Pesquisa origem e destino	17
3. RESILIÊNCIA E TRANSPORTE PÚBLICO	21
3.1. Ameaça de escassez de combustíveis fósseis	25
4. METODOLOGIA	29
4.1. Procedimento metodológico	29
4.1.1. Critérios adotados a partir da revisão da literatura	30
4.1.2. Preparação da base de dados de bilhetagem eletrônica	31
4.1.3. Processamento O/D	33
4.1.4. Cálculo das distâncias	34
4.1.5. Análise de resultados	35
4.1.6. Considerações sobre a metodologia aplicada	36
4.2. Estudo de caso do município do Rio de Janeiro	37
4.2.1. O sistema de transporte e áreas de planejamento.	37
4.2.2. Parâmetros gerais do estudo de caso	43
4.2.3. Matriz de integração e arranjos de transações considerados	45
5. ANÁLISE DE RESULTADOS	49
5.1. Análise a partir do sistema elétrico atual (trem, metrô e VLT)	49
5.2. Impacto da inserção do BRT ao sistema elétrico	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1. Sugestão de trabalhos futuro	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triângulo da Resiliência	22
Figura 2. Persistência, adaptabilidade e transformabilidade.	22
Figura 3. Macroatividades da metodologia	30
Figura 4. Exemplos de arranjos de transações	33
Figura 4. Esquema do cálculo de distâncias	35
Figura 6. Uso e ocupação do solo do Rio de Janeiro.....	37
Figura 7. Abrangência do sistema de TE no município	38
Figura 8. Abrangência do sistema de TE na AP1	40
Figura 9. Abrangência do sistema de TE na AP2.....	40
Figura 10. Abrangência do sistema de TE na AP3.....	41
Figura 11. Abrangência do sistema de TE na AP4.....	42
Figura 12. Abrangência do sistema de TE na AP5.....	42
Figura 13. Abrangência do sistema de BRT.....	43
Figura 14. Integrações do BUC.....	46
Figura 15. Integrações do BUI	47
Figura 16. Deslocamentos persistentes por região (C0).....	50
Figura 17. Deslocamentos adaptáveis por região (C0).....	51
Figura 18. Nível de resiliência por região (C0).....	53
Figura 19. Deslocamentos persistentes por região (C0 e C1).	54
Figura 20. Deslocamentos adaptáveis por região (C0 e C1).	55
Figura 21. 1º quartil por região (C0 e C1).....	55
Figura 22. 2º quartil por região (C0 e C1).....	56
Figura 23. 3º quartil por região (C0 e C1).....	56
Figura 24. Valor máximo por região (C0 e C1).	57
Figura 25. Desvio padrão por região (C0 e C1).	58
Figura 26. Nível de resiliência por região (C0 e C1).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representatividade da amostra por região.	49
Tabela 2. Análise estatística dos deslocamentos adaptáveis e transformáveis (C0).....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Publicações sobre resiliência por tema.....	24
--	----

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da ONU, 55% da população mundial viverá nas áreas urbanas até 2025. Esse contexto gera uma maior necessidade de deslocamento e demanda para novas soluções de transportes com maior eficiência energética e menos impactos ambientais (IPCC, 2014). No Brasil, cerca de 55% dos deslocamentos diários dependem diretamente da disponibilidade de combustíveis fósseis. Ao desconsiderar os deslocamentos a pé (39%), ou seja, os de distâncias pequenas, aproximadamente 88% das viagens são realizadas por modos que utilizam derivados de petróleo. Em relação ao transporte público, apenas 14,3% das viagens não utilizam tais combustíveis (NTU, 2023)

Mesmo com a crescente de investimentos em combustíveis mais sustentáveis, o setor de transportes continua dependente do uso de petróleo. Estima-se que em 2040 a demanda por combustíveis fósseis seja equivalente a 85% de todos os deslocamentos realizados no mundo (BP, 2018). O papel dos combustíveis fósseis no setor de transportes, então, é crucial e crescente, especialmente em países em desenvolvimento. Entretanto, é sabido que o petróleo é uma fonte de energia finita, e o chamado “pico do petróleo” no qual a oferta de combustível pode chegar a um ponto máximo e então cair definitivamente, causa preocupação nos setores que dependem deste recurso (Fernandes *et al.*; 2017).

Outro fator que agrava a dependência a combustíveis fósseis do sistema de transporte é o espraiamento urbano. A expansão das cidades de modo a promover baixas densidades aumenta as distâncias de deslocamento, causando maior necessidade da utilização de veículos motorizados sejam privados ou coletivos que em suma precisam da queima de combustível (Rodrigues da Silva *et al.*, 2007). No caso do Rio de Janeiro, a expansão para o Oeste e Norte da cidade e a predominância de oportunidades de emprego e outros pontos de interesse na região central, além da presença de corpos hídricos e condições desfavoráveis de relevo resultam em viagens de longas distâncias dentro dos próprios limites de seu território, aumentando o consumo energético (Data Rio, 2014).

Nesse contexto, o estudo da resiliência do transporte público em relação a esse contexto adverso busca compreender as fragilidades e potencialidades relacionadas a infraestrutura disponível (Fernandes *et al.*; 2017), principalmente em relação a presença de modos elétricos e a possibilidade de utilização dos modos ativos ou ainda da combinação dos dois. Dessa forma, é possível criar um diagnóstico da região e entender disparidades entre suas diferentes áreas, possibilitando assim pensar em ações para

prevenção de possíveis impactos. Para mais, também é possível testar possibilidades de políticas públicas e o retorno que tais medidas teriam na manutenção dos deslocamentos, dando subsídio para a tomada de decisão por parte dos planejadores do sistema de transporte. Para isso, a tecnologia e a ciência de dados servem como subsídio para a elaboração da metodologia de análise como foi feito no presente trabalho.

1.1. Justificativa

Ao considerar a natureza finita dos combustíveis fósseis e a dependência do transporte público dos municípios brasileiros, faz-se necessário entender o nível de resiliência energética do seu sistema, considerando possíveis diferenças regionais de seu território. Para mais, com o conhecimento de suas fragilidades relacionadas à disposição ou não de infraestrutura para tal adversidade, é possível enfrentar o problema com maior conhecimento de suas consequências e ainda fundamentar planos de melhoria futura.

Dessa forma, a metodologia aqui proposta busca trazer uma análise quantitativa sobre a manutenção dos deslocamentos de uma área de estudo frente a adversidade abordada, incluindo a possibilidade de se entender o impacto de sugestões de políticas públicas de incremento da infraestrutura de forma a auxiliar a tomada de decisão por parte dos planejadores de transporte.

Para mais, com a utilização dos dados do sistema de bilhetagem eletrônica, a amostra de dados confere uma maior representatividade e ainda diminui a onerosidade da obtenção dessas informações que por métodos tradicionais de levantamento tem um custo elevado e a necessidade de um tempo maior para a coleta. A metodologia busca, então, preencher uma lacuna de conhecimento da porcentagem de resiliência dos deslocamentos via transporte público considerando o contexto adverso de uma região a partir de uma base de dados já disponível aos planejadores.

1.2. Problema de pesquisa

A pesquisa tem como foco responder as seguintes perguntas:

- Como medir quantitativamente o nível de resiliência energética do sistema de transporte público de uma região?
- Como utilizar dessa metodologia para fundamentar a tomada de decisão por parte dos planejadores no incremento de infraestrutura objetivando melhorias no índice de resiliência?

1.3. Objetivos do trabalho

O objetivo geral deste trabalho é elaborar uma metodologia para análise da resiliência frente a escassez de combustíveis fósseis do sistema de transporte público de uma região, considerando os modos não movidos por combustíveis fósseis e caminhada por meio da utilização de bilhetagem georreferenciada para a classificação dos deslocamentos realizados em persistentes, adaptáveis e transformáveis. Os objetivos específicos são:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre trabalhos que já utilizaram o Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) para a elaboração de Matrizes de Origem e Destino (OD) e sobre conceitos importantes de resiliência e de esgotamento de combustíveis fósseis na mobilidade urbana de modo a embasar a elaboração da metodologia;
- Validar a metodologia com o estudo de caso do município do Rio de Janeiro para a criação do diagnóstico de resiliência frente a essa adversidade;
- Comparar os resultados obtidos no diagnóstico com uma possibilidade de política pública para melhoria dos índices de resiliência, auxiliando a tomada de decisão por parte dos planejadores.

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação é dividida em 6 capítulos incluindo: a introdução que trata das considerações iniciais, da justificativa, do problema de pesquisa, dos objetivos gerais e específicos; o capítulo 2, referente a revisão da bibliografia sobre o tema de uso de dados no planejamento de transporte, além da discussão sobre bilhetagem eletrônica e matrizes de origem e destino; o capítulo 3 que aborda a resiliência e a problemática do esgotamento de combustíveis fósseis no contexto do transporte público; o capítulo 4 que traz a elaboração da metodologia e o estudo de caso; o capítulo 5 mostra e discute os resultados da pesquisa incluindo o diagnóstico do município do Rio de Janeiro e o comparativo com a sugestão de incremento da infraestrutura; e o capítulo 6 que traz as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

2. USO DE DADOS NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE

O planejamento de transportes é a definição de estratégias para satisfazer as necessidades da demanda de deslocamentos de determinada região em um horizonte temporal. Durante muito tempo, essas estratégias estiveram focadas em ações de curto prazo, considerando uma amostra limitada de dados. Porém, com o auxílio da tecnologia e com a percepção da importância de se idealizar um sistema com uma previsão de horizonte maior, o planejamento de transportes pode ser pensado de forma macro e com ações contínuas e de longo prazo (Ortúzar e Willumsen, 2011).

A demanda pelo transporte está diretamente ligada ao conceito de viagem. Uma viagem é definida pelo movimento de um passageiro partindo de um ponto de origem em direção a um destino, em movimento único ou em trechos quando há integração entre um ou mais modos de transporte (Alsger *et al.*, 2018). Os dados relativos as viagens realizadas em uma localidade podem ser sintetizadas no que é chamado de matriz de origem e destino (OD) que fornece o fluxo de pessoas de todos os pares origem e destino do sistema de transporte (Ortúzar e Willumsen, 2011). Com a matriz OD, é possível analisar as características da demanda e estabelecer os padrões de viagens e comportamento de passageiros além de possibilitar uma análise de oferta versus demanda do sistema já existente (Alsger *et al.*, 2018).

A demanda de passageiros não é um fim em si mesmo, mas é derivada da necessidade das pessoas em se locomover para realizar suas funções, seja de trabalho, educação, saúde etc. Ela varia em função do tempo e do espaço e tem influência direta na oferta do serviço de transporte. No que se refere a dimensão temporal, essas variações podem ser computadas em relação as horas, dias, semanas, meses ou de acordo com a análise proposta. Já na dimensão espacial, as alterações dizem respeito às seções críticas, ou seja, onde há o maior carregamento devido a densidade de pontos de geração e atração de demanda (Ferraz e Torres, 2004).

Uma das importantes dimensões das cidades inteligentes é a mobilidade urbana, a qual tem como fator fundamental de mudança o transporte público, visto que ele incentiva a população a deixar de usar modos privados, reduzindo os problemas de mobilidade (Schmöcker, 2004). Dessa forma, na discussão da sustentabilidade, para além da necessidade de se atender uma demanda específica, o planejamento de transportes auxilia também na mudança de padrão de viagens menos sustentáveis com a promoção do transporte ativo e público, principalmente os não movidos por combustíveis fósseis. O

uso de dados neste contexto pode auxiliar no entendimento de vulnerabilidades e potencialidades do sistema de transporte de determinada região.

Assim, para a utilização de ferramentas que contribuam para o planejamento inteligente da mobilidade, é necessário trabalhar com a ciência de dados. Com os avanços recentes, houve um grande incremento na capacidade humana de obter, armazenar e manipular dados, facilitando a resolução de problemas e auxiliando na tomada de decisão (Provost e Fawcett, 2013).

A ciência de dados é um conjunto de princípios que balizam estratégias para analisar, preparar, visualizar e apresentar dados para solucionar problemas (Provost e Fawcett, 2013). A aplicação da ciência de dados torna-se então um método muito mais eficaz para diagnosticar problemas relacionados ao sistema de transporte público do que métodos de pesquisas de campo (Batty et al., 2012).

Desse modo, a ciência de dados e o uso das ferramentas tecnológicas são de grande importância para traduzir e organizar as informações obtidas em tempo real e automatizando os processos para o setor de transportes. Os dados obtidos automaticamente tornam as atividades menos onerosas e mais confiáveis, considerando que é possível receber informações constantemente e manipular um grande volume de dados (Batty et al., 2012)

A primeira fase do planejamento de transporte consiste na coleta de dados para caracterização do perfil de viagens existentes e futuras com o objetivo de criar um diagnóstico do sistema. A partir disso, é possível pensar em soluções a curto, médio e longo prazo. Com o avanço da tecnologia, existem inúmeras maneiras de se coletar dados de transportes e uma delas é a partir do sistema de bilhetagem eletrônica que será abordada neste capítulo e na qual é possível de se elaborar matrizes OD a partir de sua base.

2.1. Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE)

O SBE consiste em um *software* que gerencia os processos de registro do pagamento da tarifa do transporte e por equipamentos de leitura e transmissão de dados, além dos pontos e dispositivos de venda e recarga de cartões (Lubeck *et al.*, 2008). A fiscalização e gerenciamento da demanda de transporte têm importante impacto na arrecadação para a administração pública, no desenvolvimento econômico local e na eficiência do transporte público (Da Silva *et al.*, 2023). O sistema de bilhetagem

eletrônica (SBE) então mostra-se como um importante aliado na realização de tais atividades.

O SBE surge a partir da evolução dos cartões de crédito com tarja magnética e representa benefícios para o passageiro nos seguintes aspectos: comodidade no pagamento, sem a necessidade de manuseio de dinheiro e troco; agilidade no embarque; maior segurança; e a possibilidade de se recuperar os créditos em caso de perda ou roubo do cartão (Farrel, 1996).

A difusão do SBE extinguiu a necessidade de vale transporte em papel ou fichas plásticas, passando a concentrar créditos em cartões a serem utilizados pelos passageiros em empresas que operam no mesmo sistema. Os créditos utilizados são então enviados automaticamente para as operadoras. Estes sistemas de bilhetagem eletrônica têm como foco diminuir as ineficiências dos sistemas tradicionais de vale transporte (Lubeck *et al.*, 2012).

O sistema tradicional de compra e venda de passagens consistia na comercialização de tíquetes em lojas próprias ou ainda a utilização direta de dinheiro para pagamento da tarifa. Os valores recolhidos eram entregues pelo cobrador ou atendente do guichê ao final de sua jornada a um responsável das empresas transportadoras, juntamente com um boletim do total de passageiros transportados (números registrados nas catracas) que, no entanto, não discriminava o tipo de passageiro (isentos, pagantes, vale-transporte ou passagem escolar). Os valores recolhidos eram transportados até os bancos e os tíquetes retornavam para as empresas (Lubeck *et al.*, 2012)

Com essa mudança no sistema de pagamento da tarifa, para a empresa operadora significou uma maior segurança na arrecadação da receita do serviço, além da redução de seus custos operacionais considerando a maior agilidade no embarque. Para o gestor do transporte, as vantagens principais estão na maior facilidade de fiscalização e no registro de informações importantes que podem fundamentar ações de planejamento como mostram as publicações destacadas neste item.

Bagchi e White (2005) estuda o uso do (SBE) no Reino Unido e mostra a importância da grande quantidade de dados registrados em suas bases em comparação com métodos tradicionais de levantamento. Para mais, os autores também evidenciam as suas limitações que serão abordadas no decorrer deste item, mas destacam a sua relevância e papel complementar no diagnóstico da rede de transportes.

Pelletier e Morency (2011) em seu trabalho de revisão da literatura sobre o sistema de bilhetagem apresenta os principais conceitos de sua utilização e ainda destaca a

importância dessa tecnologia para o planejamento do sistema de transporte tanto no nível estratégico, balizando propostas de longo prazo; tático, com o ajuste de serviços e desenvolvimento da rede; e operacional, com a utilização na criação de indicadores de performance. Esse artigo mostra como o sistema de bilhetagem pode auxiliar na criação de subsídios para a tomada de decisão por parte do poder público em relação a rede de transportes local.

Lubeck *et al.* (2012) aborda as melhorias ao sistema de transporte que o SBE possibilitou com o estudo de caso da Região Metropolitana do Rio Grande do Sul. Para isso, foi realizada uma análise comparativa com a literatura sobre o tema dos benefícios obtidos com a implementação desta tecnologia e foi percebido que o SBE não só proporcionou uma melhor gestão das operações de pagamento, mas serviu como um meio para que outras tecnologias pudessem ser implementadas e ainda auxiliou na tomada de decisão dos planejadores do sistema.

Côrrea *et al.* (2015) traz a discussão sobre o SBE da Região Metropolitana de Recife conhecido como Vale Eletrônico Metropolitano (VEM) com base na teoria da construção social da tecnologia que permite conhecer as dimensões sociais e políticas do sistema. Foi observado que no caso do VEM, trata-se de uma ferramenta que tem foco apenas nas suas funcionalidades operacionais, ou seja, controle e fiscalização do pagamento da tarifa, não sendo utilizado em ações que poderiam viabilizar um melhor planejamento a partir de sua utilização.

Oliveira, Silva e Nassi (2016) foca na análise de padrões de mobilidade urbana durante os dias de carnaval na cidade do Rio de Janeiro a partir da análise de dados do SBE. Como conclusão, o estudo verificou que a utilização de dados de SBE pode facilitar a elaboração de programas de operação especiais para eventos sazonais e grandes eventos e recomenda ainda um SBE unificado de forma a otimizar a manipulação dos dados.

Da Silva (2017) aborda o incremento de tecnologia ao SBE com a discussão de ferramentas como NFC, QR code e biometria como novas formas de pagamento e controle de gratuidades, trazendo mais segurança e comodidade ao sistema. A publicação traz ainda o estudo de caso da cidade de Natal (RN) com o objetivo de criar um diagnóstico do SBE local e propor mudanças baseadas em boas práticas mundiais.

Da Silva *et al.* (2023) avalia a demanda de transporte público intermunicipal do Rio Grande do Norte sob a hipótese de que a integração dos sistemas de demanda poderia identificar viés de subdeclaração ao cruzar dados declarados de demanda, presentes no Sistema de Gestão de Informações de Transportes (GISIT), e os dados reais de demanda

do Sistema de Bilhetagem Eletrônica. Como resultado foi observado que a subdeclaração foi de 41,74% da frota. Esse trabalho mostra mais uma funcionalidade da análise do SBE para a gestão pública.

Lima *et al.* (2023) utiliza o SBE e registros operacionais do sistema de compartilhamento de bicicletas para identificar viagens integradas entre esses modos como uma alternativa aos métodos tradicionais de pesquisa de campo. A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível criar um diagnóstico sobre o tema e fundamentar ações de planejamento estratégico e operacional.

2.2. Pesquisa origem e destino

A metodologia aplicada neste trabalho tem inspiração nas pesquisas de origem destino (OD) onde são coletadas informações importantes que para além do que o nome já menciona, busca entender o modo de transporte utilizado, o motivo da viagem, o horário do dia etc. Os modos tradicionais de pesquisa OD são realizados em campo ou em domicílio e se baseiam na coleta de respostas a um questionário elaborado previamente com perguntas detalhadas sobre o deslocamento do entrevistado. Nele também é levantado o perfil sociodemográfico do participante a fim de caracterizar a amostra e possibilitar análises cruzadas (Campos, 2013).

Como ponto forte desse tipo de pesquisa está a abordagem de todos os modos de transportes e a possibilidade de se levantar informações detalhadas. Como pontos sensíveis, está a onerosidade do procedimento, visto o maior tempo e custo despendidos para se alcançar uma amostra representativa. Além disso, a pesquisa acaba ficando refém da capacidade do entrevistado em relatar apropriadamente as características do seu deslocamento, o que pode gerar inconsistências dependendo de quem responde (Stepher e Greaves, 2007). Para contornar essas fragilidades, com o auxílio da tecnologia, foram implementadas novas formas de se realizar pesquisas OD, incluindo o sistema de telefonia móvel e o uso de cartões inteligentes por meio do SBE.

A principal metodologia para a obtenção de matrizes OD de transporte público utilizando cartões inteligentes é a de encadeamento de viagens (Alsger *et al.*, 2018). Para a utilização desse método, segundo Alsger *et al.* (2018), é necessário que algumas premissas sejam adotadas. Primeiro, o cartão é visto como pessoal e intransferível. Outra consideração é que o proprietário do cartão não realiza deslocamento que não esteja registrado no cartão e por último, deve haver pelo menos duas transações para aferição

da origem e destino para o período em questão. Dessa forma, como não há registro do desembarque do passageiro, este está ligado ao ponto de embarque do trecho seguinte.

Em comparação com os métodos tradicionais de pesquisa, a O/D digital tem a vantagem de conseguir alcançar uma maior cobertura dos deslocamentos de uma região, com a possibilidade de coletar dados por um período contínuo sem interferência do usuário do transporte (Bagchi e White, 2005). Assim, a amostra fica mais representativa, trazendo análises mais aderentes às condições reais do sistema de transporte.

Entretanto, alguns pontos sensíveis precisam ser destacados considerando a limitação do uso dos cartões que originalmente foram criados com o objetivo principal de facilitar a gestão do pagamento das tarifas. Dessa forma, informações importantes como o motivo da viagem e dados sociodemográficos do passageiro não são conhecidas. Alguns trabalhos já publicados buscam preencher essas lacunas com o cruzamento de outras bases e uso de algoritmos para inferir essas informações. Outro tópico é que são levantados apenas os deslocamentos via transporte público, os modos individuais não são considerados (Pelletier e Morency, 2011).

Dentre as publicações que abordam a utilização de cartões eletrônicos para a construção de matrizes OD, Zhao (2004) desenvolve uma metodologia para a inferência do ponto de destino de passageiros do sistema ferroviário de Chicago por meio da associação de dados de SBE e de GPS. Neste trabalho ainda, é observada a integração com o sistema de ônibus urbanos visando a melhoria das suas condições de operação.

Semelhante a Zhao (2004), Farzin (2008) aplicou a metodologia para a cidade de São Paulo utilizando SBE, GPS e o georreferenciamento dos pontos de embarque e desembarque. Por fim, o trabalho compara a nova matriz OD gerada com dados da matriz gerada em 1997, apontando modificações e semelhanças nos padrões de deslocamento local.

Munizaga, Palma e Mora (2010) desenvolve um estudo para aferição do ponto de desembarque como sendo o que minimizasse a distância de caminhada entre ele e o ponto de embarque seguinte. Com estudo de caso aplicado em Santiago no Chile, os resultados mostraram que foi possível determinar o ponto de destino de 82% das viagens. Em continuação, Munizaga e Palma (2012) introduziu um método para expansão da amostra considerando três cenários: quando a origem é conhecida, mas o destino não; quando nenhum dos dois é conhecido; e quando as viagens não são detectadas no cartão, incluindo pagamentos em dinheiro e evasão do pagamento da tarifa.

Guerra, Barbosa e Oliveira (2014) apresenta uma proposta metodológica de estimativa de uma matriz OD para o sistema de transporte público por ônibus a partir de dados de SBE e as informações de itinerários das linhas da rede com estudo de caso realizado em Maceió (AL). Os resultados se mostraram eficientes e indicaram que a metodologia permitiria incorporar mudanças ocorridas no sistema de transporte de forma mais ágil pela facilidade em se obter os dados brutos.

Na tentativa de preencher lacunas das matrizes OD de cartões inteligentes, em relação ao motivo da viagem, Alsger *et al* (2018) propõe um modelo para a sua inferência a partir das bases de uso do solo, de GTFS (General Transit Feed Specification), do plano estratégico de transporte de Queensland na Austrália (região do estudo) e dados de outras pesquisas OD. Os resultados mostram uma inferência correta geral de 67% após a aplicação de atributos espaciais, mas aumenta para 78% após a aplicação de atributos temporais. As viagens a trabalho e para casa apresentam os maiores resultados de inferência correta, com 92% e 96%, respectivamente. Além disso, os resultados para viagens de compras e educação melhoraram após a aplicação dos atributos temporais.

Egu e Bonnel (2020) faz uma análise comparativa entre os resultados de uma pesquisa O/D domiciliar, uma de grande escala em campo e uma utilizando o SBE em Lyon, na França. Como resultado, foi observado que em termos gerais os resultados são satisfatórios, mas em relação ao método utilizando SBE é necessário destacar que pode haver algumas inconsistências no encadeamento das viagens e que é necessário o cruzamento com outras bases de dados para entender informações que não estão disponíveis nas bases dos cartões. Além disso, os deslocamentos de pessoas que não utilizam cartões não podem ser considerados e isso pode acabar excluindo grupos específicos das análises. Entretanto, visto o tamanho da amostra, essas fragilidades são compensadas.

Já Pinheiro (2023) utiliza técnicas de aprendizado de máquina para inferir informações não disponíveis nessas bases. O estudo consistiu em um método de inferência dividido em dois modelos sequenciais, um para classificar viagens primárias e outro para classificar viagens secundárias, ambos a partir do algoritmo *Random Forest* e da técnica de balanceamento de classes *Random Oversampling*. Como resultado, foi observado que o modelo treinado para classificar os motivos primários da viagem apresentou bons resultados e pode ser utilizado como auxílio na realização das pesquisas.

A pesquisa aqui realizada limita-se à utilização da base raiz de bilhetagem eletrônica, sem a inferência dos motivos das viagens e assim, não abrange a

essencialidade das viagens considerando o contexto adverso. Dessa forma, todos os deslocamentos são avaliados igualmente a partir do entendimento de sua capacidade de persistir ou se adaptar frente à ameaça.

3. RESILIÊNCIA E TRANSPORTE PÚBLICO

A resiliência está ligada à capacidade de um sistema de persistir, adaptar e se transformar (Gaitanidou, Tsami e Bekiaris, 2017), frente a ameaças internas ou externas, apresentando-se como uma maneira de avaliação de sistemas complexos em que existem interações dinâmicas de diferentes escalas e fatores (Fernandes *et al.*, 2017). O primeiro registro da utilização do conceito de resiliência foi de Thurston (1874) com a aplicação para a área de materiais de construção com o objetivo de entender suas propriedades e resistência mediante solicitações.

Por sua vez, Holling (1973) começa a discutir uma perspectiva ecológica da resiliência. Essa publicação tinha como objetivo entender como os sistemas ecológicos lidavam com tensões e distúrbios causados por fatores externos e internos. Posteriormente, foi feita uma distinção entre os conceitos de resiliência para a engenharia e para os sistemas ecológicos. Para o primeiro, a resiliência estaria ligada a estabilidade em relação a um estado único de equilíbrio enquanto para os estudos ecológicos, poderia haver a presença de múltiplos estados (Holling, 1996).

Bruneau (2003) traz o conceito da resiliência relacionando o nível de performance de um sistema ao seu tempo de recuperação quando submetido a eventos adversos. McDaniels *et al.* (2008) indica ainda a influência do conhecimento prévio de adversidades possíveis e da tomada de decisão na mitigação da perda de performance e na diminuição do tempo de recuperação. Para mais, mesmo com tais ações, ele também destaca a possibilidade de o nível de performance não retornar ao anterior ao evento adverso. A Figura 1, conhecida como o “Triângulo da Resiliência”, traz a ilustração do nível de performance e tempo de recuperação de sistemas frente a ameaças e os conceitos de robustez (persistência de um sistema) e rapidez (tempo de recuperação) relacionados.

A partir da diferenciação de Holling (1996), Walker *et. al* (2004) passa a integrar dois aspectos a discussão: a adaptabilidade e a transformabilidade. A adaptabilidade foi conceituada como a capacidade de um sistema de se ajustar diante de adversidades de forma a continuar sua funcionalidade. Já na transformabilidade, novos domínios de estabilidade precisam ser criados para o desempenho de suas funções, ou seja, nas condições existentes, os sistemas seriam prejudicados e seu nível de performance cairia.

Folke *et al.* (2010) aborda o conceito de persistência e o descreve como a capacidade de um sistema em manter seu funcionamento diante de dificuldades, estando diretamente ligada ao seu nível de vulnerabilidade. Além disso, reformula a concepção de adaptabilidade não só atribuindo a capacidade de se ajustar, mas também de

aprendizado a partir das experiências vivenciadas para evitar instabilidades futuras. A Figura 2 mostra uma visão geral da resiliência em termos da persistência, adaptabilidade e transformabilidade, mostrando diferentes tipos de ameaças a que o sistema pode estar sujeito. Esses tópicos serão utilizados para análise de resultados desta pesquisa.

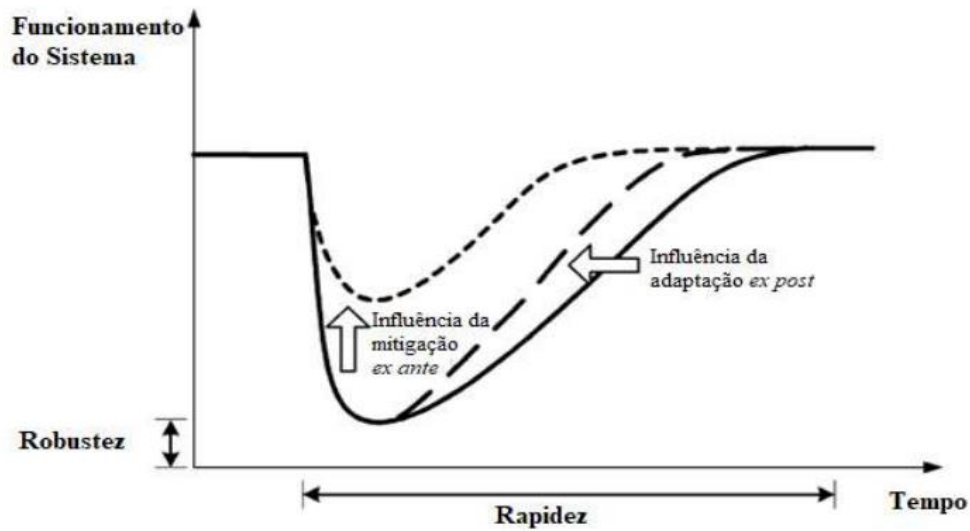


Figura 1. Triângulo da Resiliência
 Fonte: Adaptado de McDaniels *et al.* (2008)

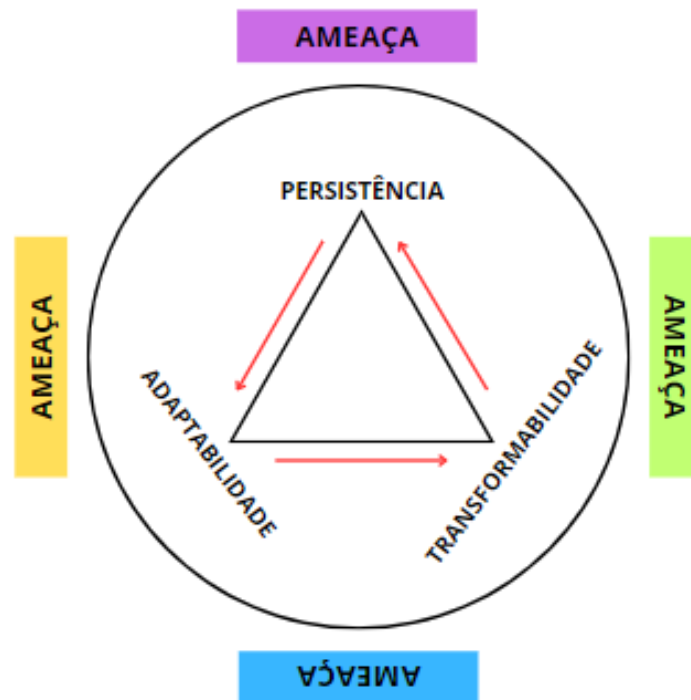


Figura 2. Persistência, adaptabilidade e transformabilidade.
 Fonte: Adaptado de Folke (2010)

Embora a resiliência seja um termo frequentemente utilizado em associação a eventos que ameaçam a integridade de um sistema, ela permanece em grande parte não sendo implementada no planejamento urbano (Ahern, 2011). Assim, o principal desafio da resiliência urbana é o desenvolvimento de uma teoria multidisciplinar que integre as mais variadas dimensões do contexto urbano (social, econômica, cultural, ambiental, espacial, física etc.) com o entendimento de suas correlações para compreender as vulnerabilidades das cidades e os procedimentos para torná-las um ambiente mais resiliente (Jabareen, 2013).

A resiliência urbana refere-se à capacidade de um sistema urbano e todos os seus componentes, em escalas espaciais e temporais, em se manter ou retornar rapidamente ao funcionamento normal frente a uma ameaça (Meerow e Newell, 2019). O pensamento sobre mudança, perturbação, incertezas e adaptabilidade são essenciais para a ciência da resiliência. Dessa forma, o planejamento das cidades resilientes é visto como um processo de redução de vulnerabilidades e de acúmulo de um conjunto de ativos que permitam que a cidade transcenda as suas crises (Ahern, 2011).

Neste cenário, o papel do sistema de transporte público torna-se cada vez mais importante com o crescimento das cidades e o desenvolvimento de atividades complexas sob o seu território (Duy, Chapman e Tight, 2019). Entender o conceito de resiliência aplicado ao transporte público é fundamental para entender suas vulnerabilidades e assegurar o funcionamento efetivo de outros sistemas para os quais o transporte público faz parte da sua cadeia de funções (Gaitanidou, Tsami e Bekiaris, 2017).

Martins *et al.* (2019) promove uma classificação do nível de resiliência baseado em faixas percentuais de acordo com as viagens que continuam sendo realizadas frente a determinada adversidade. Essa porcentagem é relativa à soma da quantidade de viagens persistentes (que não sofreram nenhum tipo de impacto) e das viagens adaptáveis (que conseguiram se ajustar e assim, puderam ser realizadas). Dessa forma, o nível de resiliência é categorizado como “muito baixo” (0 a 20,0%), “baixo” (20,1 a 40,0%), “médio” (40,1 a 60,0%), “alto” (60,1 a 80,0%) e “muito alto” (80,1 a 100,0%). Essa classificação também será utilizada para a análise de resultados.

A resiliência no contexto dos transportes vem sendo abordada na literatura de uma maneira mais qualitativa e, em geral, de modo quantitativo apenas para avaliar modos de transporte de maneira isolada diante de perturbações (Leobons *et al.*, 2019). Das ameaças encontradas, os estudos são dos mais variados e o Quadro 1 traz os macrotemas e algumas publicações relacionadas.

Quadro 1. Publicações sobre resiliência por tema

	Tema	Publicações
1	Interação entre os modos de transporte	Henry <i>et al.</i> , 2022; Jin <i>et al.</i> , 2014.
2	Interação entre o espaço urbano e o sistema de transporte	Fior <i>et al.</i> , 2022.; Zhang e Ng, 2021;
3	Mudanças climáticas e desastres naturais	Ferranti, Oberling e Quinn, 2022; Oliver <i>et al.</i> , 2019; Cariolet, 2018
4	Questões socioeconômicas	Santos, 2020; Pilav, 2012.
5	Questões de saúde pública	Cerasoli, 2022; Dias, Arsenio e Ribeiro, 2021; Colmenero-Fonseca <i>et al.</i> , 2021; Campisi, 2020.
6	Crise energética	Azolin e Silva, 2020; Fernandes <i>et al.</i> , 2019; Leung, Burke e Cui 2018.

Sobre o tema 1, os artigos abordam as fragilidades e potencialidades da interação de diferentes modos de transporte. Henry *et al.* (2022), por exemplo, trata dos sistemas de *park-and-ride* sob demanda para complementar uma infraestrutura de transporte existente e melhorar sua resiliência. Já Jin *et al.* (2014) analisa a interrupção da rede de transportes, introduzindo um aplicativo para a rede de transporte multimodal que capitaliza as redundâncias e conectividade de uma rede metrô-ônibus.

Fior *et al.* (2022) discute o redesenho urbano de Milão para a implementação de novas conexões com um sistema de transporte sustentável e Zhang e Ng (2021) apresenta um método para avaliar a criticidade dos nós da rede de transporte público e sua interação com o espaço urbano, com a demonstração do método no Mass Transit Railway em Hong Kong no tema 2.

Em relação ao tema 3, Ferranti, Oberling e Quinn (2022) discute a resiliência do transporte urbano no Rio de Janeiro, evidenciando os impactos causados por fortes chuvas e altas temperaturas nas redes ferroviárias, metroviárias e de BRT (Bus Rapid Transit); Oliver *et al.* (2019) realiza um estudo que mede as percepções de inundações e resiliência às inundações na cidade de Colima-Villa de Alvarez entre 2018 e 2019 com a aplicação de um índice de resiliência aplicado em 10 zonas da cidade; Cariolet (2018) desenvolve um método para avaliar a resiliência de uma área à poluição do ar ligada a morfologia urbana, rede de transportes e uso do solo, com estudo de caso da Região Metropolitana de Paris.

Santos (2020) analisa os níveis de resiliência e vulnerabilidade frente às ameaças de subsídios às tarifas de transporte público através da lógica fuzzy com o estudo de caso em 33 regiões administrativas do Rio de Janeiro e Pilav (2012) discute as condições urbanas de cidades da Bósnia após o contexto de guerra enfatizando o componente social com o ambiente destruído, incluindo a falta de transporte público para o tema 4 de questões socioeconômicas.

O tema 5 teve grande influência da pandemia do COVID-19 com Cerasoli (2022) promovendo uma estratégia para a mobilidade da cidade de Roma a partir da análise do sistema de povoamento romano relacionada às fragilidades do cenário de mobilidade depois da pandemia; Dias, Arsenio e Ribeiro (2021) discute o uso de sistema de compartilhamento de patinetes durante a pandemia do COVID-19 através de uma revisão da literatura e o estudo de caso em Braga; Campisi (2020) investiga a influência da pandemia do COVID-19 no uso de modos mais sustentáveis com pesquisa realizada na Sicília.

O tema 6 da crise energética trata da relação do sistema de transporte com a dependência aos combustíveis fósseis e seus trabalhos serão explicitados no próximo item.

3.1. Ameaça de escassez de combustíveis fósseis

Historicamente, a era do petróleo no século XX foi marcada pela larga utilização dessa fonte de energia na agricultura, indústria e transporte. No contexto dos transportes, a indústria automobilística teve fundamental importância no incremento do uso desse recurso e em paralelo, as cidades estadunidenses promoviam o uso dos carros com a criação e alargamento de ruas e avenidas (Rodrigues, Comtois, & Slack, 2013). Já na Europa, uma vertente diferente de planejamento urbano se consolidava com o maior investimento em trens, metrô e bondes (Heinberg, 2003).

Na década de 1970, visto o reconhecimento da natureza finita do petróleo, houve uma grande elevação do preço do barril que quase triplicou em menos de 10 anos e países como os Estados Unidos que na época já dependiam da exportação do recurso tiveram perdas econômicas, aumentando as tensões do país com o Oriente Médio (maiores produtores de petróleo do mundo). Esse cenário mostra também o impacto político que a compra e venda de petróleo têm nas relações entre os países do mundo até hoje (Harvey, 2008). No caso das crises do petróleo, com o aumento do preço dos combustíveis, as

condições de mobilidade dos espaços urbanos foram afetadas, principalmente das cidades que mais utilizavam o transporte individual (Fernandes *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, acontecimentos a nível nacional e regional impactaram o transporte das cidades brasileiras como é o caso das persistentes greves dos caminhoneiros frente a alta no preço do diesel que se intensificaram a partir de maio de 2018. Para mais, a alta nos preços dos combustíveis fósseis influencia na elevação da tarifa dos transportes públicos, aumentando a impedância e dificultando os deslocamentos. Esse contexto coloca em questão a resiliência do setor de transportes frente à ameaça de escassez de combustíveis fósseis (Fernandes *et al.*, 2019).

Na literatura, Krumdieck, Page e Dantas (2010) aborda a crise energética na mobilidade urbana com a proposição de uma análise de risco priorizando os modos ativos. O trabalho classifica as viagens em três categorias: essenciais (que seriam difíceis de serem eliminadas visto a importância para a manutenção da saúde, renda e bem-estar), necessárias (que causam perdas econômicas) e opcionais (que podem ser eliminadas sem prejuízo à saúde, renda ou bem-estar) com aplicação na Nova Zelândia considerando 4 níveis diferentes de redução da oferta de combustível. Como resultado, foi observado que os habitantes de áreas menos conurbadas e com acesso limitado à rede de transporte público estão em maior iminência de serem impactados por esse tipo de perturbação. Apesar da importância desta publicação para o tema da dependência do transporte aos combustíveis fósseis, não há menção aos conceitos de resiliência.

Rendall, Page e Krumdieck (2014) desenvolve uma metodologia considerando a adaptabilidade do passageiro para modos com menor gasto energético, considerando a estimativa do valor mínimo de consumo para a realização das viagens necessárias e a escolha modal é realizada a partir de uma hierarquia estabelecida por esse valor. Dessa forma, foi possível criar o indicador de grau de adaptabilidade para cada deslocamento. Além disso, foi estabelecida a relação entre o custo do transporte e a renda do indivíduo para a criação do indicador do grau de manutenção das viagens. Juntos, os dois indicadores foram usados para determinar os níveis de vulnerabilidade das diferentes regiões da área de estudo.

Leung, Burke e Cui (2018) compara a vulnerabilidade do espaço urbano em Brisbane na Austrália e Hong Kong por meio da utilização dos dados demográficos e do padrão de viagens para o trabalho, utilizando os conceitos de vulnerabilidade, exposição, sensibilidade e adaptabilidade. Os autores elaboram um indicador para entender a dependência em relação ao uso de veículos particulares e a vulnerabilidade do petróleo

através de indicadores sociodemográficos. Os resultados mostram que as políticas públicas de fomento ao transporte ferroviário e modos ativos oferecem maior resiliência a essa ameaça a longo prazo.

Fernandes *et al.* (2019) utiliza os conceitos de persistência, adaptabilidade e transformabilidade de Folke *et al.* (2010) para a análise da resiliência da cidade do Rio de Janeiro em relação à ameaça de escassez de combustíveis fósseis numa abordagem qualitativa e quantitativa. O método qualitativo consistiu em coletar informações sobre o padrão de viagens da população economicamente ativa e assim, entender possíveis vulnerabilidades frente à adversidade tratada, além de avaliar projetos e políticas de soluções de mobilidade orientada ao tema. Já o método quantitativo, levou em conta as condições econômicas dos passageiros para resistir à ameaça considerando o aumento do preço dos combustíveis. Como resultado, a publicação elencou as áreas com os menores índices de resiliência e identificou agravantes como a concentração de oportunidades de trabalho na região central da cidade e a baixa abrangência do sistema elétrico.

Já Azolin e Rodrigues da Silva (2020) insere o transporte público em uma estratégia para a avaliação da resiliência da mobilidade urbana frente a possibilidade de restrição no abastecimento de combustível fóssil. A partir das 6.821 respostas de uma pesquisa de origem e destino realizada entre os anos de 2007 e 2008 na cidade de São Carlos (SP), são avaliados diferentes cenários com distâncias máximas possíveis para os modos a pé, bicicleta e o racionamento das 54 linhas de transporte público que para cidade se limitam aos ônibus. Observou-se que mesmo em condições mínimas de funcionamento, a inserção do transporte público proporcionou um ganho de 21,4% na resiliência do cenário mais pessimista para os modos ativos.

Os trabalhos mencionados mostram a relação da mobilidade urbana com a dependência aos combustíveis fósseis em suas variadas abordagens qualitativas e/ou quantitativas. O que todos eles têm em comum é a observação da importância do transporte público, principalmente os modos movidos a energia elétrica, e ativo no aumento dos níveis de resiliência de uma região. Ao considerar a natureza finita do petróleo, é sabido que sua produção em algum momento atingirá um pico e pensar numa transição energética é fundamental para antecipar o período de redução da disponibilidade deste insumo (Dantas e Krumdieck, 2010).

Considerando a necessidade que as cidades dependentes de combustíveis fósseis têm em aumentar os seus níveis de resiliência – alocando esforços não só para o controle dos preços do petróleo, mas para alternativas mais sustentáveis de deslocamento (Cervero

et al., 2009), é necessário se pensar na transição energética do setor com o objetivo de reduzir vulnerabilidades e o impacto ao meio ambiente e na economia.

4. METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada no processo de pesquisa desta dissertação dividida em dois itens: o procedimento de pesquisa propriamente dito e a apresentação do sistema de transporte público do Rio de Janeiro que servirá como estudo de caso para sua validação.

4.1. Procedimento metodológico

Esta metodologia consiste na classificação dos deslocamentos via transporte público de uma região em persistentes, adaptáveis e transformáveis considerando um contexto de falta de disponibilidade de combustível fóssil. A partir disso, com a soma da parcela persistente e adaptável é possível verificar o nível de resiliência do local, trazendo uma visão quantitativa de todo o sistema de transporte público que segundo Leobons *et al* (2019). carece de trabalhos com esse direcionamento na literatura.

Para isso, inspirada em uma pesquisa de origem e destino digital, a metodologia elaborada neste trabalho após a separação dos deslocamentos que não seriam impactados pelo contexto adverso (persistentes) busca entender os pontos de embarque e desembarque do trecho realizado por modos de transporte movidos a combustível fóssil (TCF). Dessa forma, esses locais não necessariamente coincidem com as origens e destinos absolutas e sim apenas da parte do trajeto que representa vulnerabilidade.

Com isso, são calculadas as distâncias necessárias de caminhada para acesso ao sistema de transporte elétrico – ou qualquer outra fonte de energia que não combustível fóssil (TE) – ou ainda da origem e destino se menor, de modo a entender se o deslocamento é adaptável, dentro dos limites viáveis de caminhada, ou transformável, acima desse limite.

As atividades relacionadas ao procedimento metodológico podem ser verificadas na Figura 3 e consistem em: uma revisão da literatura inicial; preparação da base de dados de bilhetagem eletrônica; classificação das viagens persistentes; determinação dos pontos de origem e destino de TCF; cálculo das distâncias de caminhada; classificação das viagens adaptáveis e transformáveis; e por último a análise de resultados. Todas essas etapas serão explicadas no decorrer deste subcapítulo.

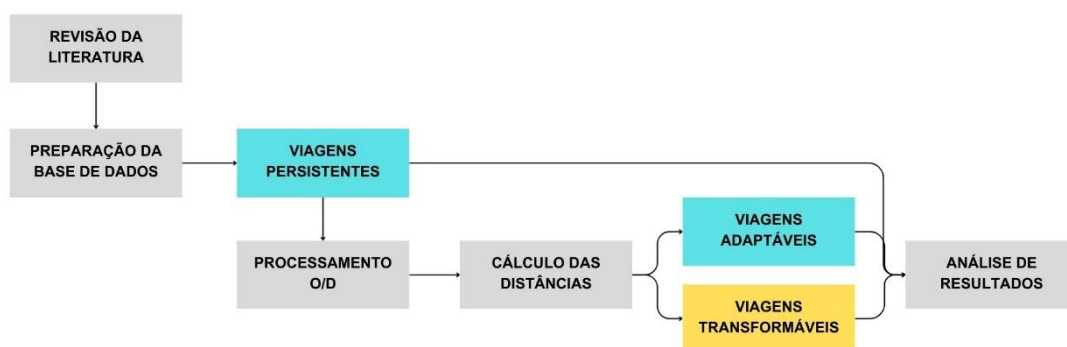


Figura 3. Macroatividades da metodologia

4.1.1. Critérios adotados a partir da revisão da literatura

Para a elaboração da metodologia atendeu-se o critério estabelecido por Alsger *et al.* (2018) em relação a determinação dos pontos de origem e destino do trecho utilizado para a análise. Dessa forma, foi adotado que: os cartões utilizados para pagamento da tarifa do transporte são pessoais e intrasferíveis; o titular não realiza deslocamento que não esteja registrado no cartão; e o destino do TCF está associado ao embarque seguinte a primeira transação, com a observação das integrações/transbordos que serão abordados neste capítulo.

Em relação a classificação das viagens, são consideradas persistentes apenas os deslocamentos realizados por modos de transporte elétrico (TE) ou outras fontes que não combustível fóssil ou ainda uma combinação entre eles. Nesses casos, a falta de combustível fóssil não impactaria diretamente no deslocamento a ser realizado. Entretanto, essa metodologia não investiga os impactos indiretos que poderiam ser causados, inclusive em relação a não necessidade de se deslocar mais devido a esse contexto.

No caso das viagens adaptáveis, o trecho realizado por um modo movido a combustível fóssil (TCF) poderia ser adaptado pela substituição por uma caminhada e/ou trecho em TE. O critério para a definição dos deslocamentos adaptáveis levou em consideração os parâmetros estabelecidos no manual do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) chamado de Índice de Caminhabilidade 2.0 (iCam) publicado em 2018.

Nessa publicação, foi criado uma escala que classifica distâncias de caminhadas para embarque a modos de transporte de média e alta capacidade considerando uma distância viável de até 1km. Entretanto, essa escala não leva em consideração o destino do passageiro. Dessa forma, por exemplo, uma pessoa que mora próximo ao sistema de

TE, mas realiza atividades diárias em uma região sem atendimento seria atribuída a uma distância viável apenas pelo local que mora.

Assim, para vincular a variável destino a análise, foi estabelecido que a distância da origem até o ponto de embarque do TE (caminhada inicial) somada a distância do ponto de desembarque do TE ao destino (caminhada final), ou se menor que a anterior, a distância apenas de caminhada da origem ao destino, não pode ultrapassar 2 km para ser considerada adaptável.

Os casos que ultrapassam 2km, por conta da longa distância a se percorrer a pé, são classificados como transformáveis, ou seja, não poderiam realizados nas condições de infraestrutura existentes.

4.1.2. Preparação da base de dados de bilhetagem eletrônica

O primeiro passo é a definição do período a ser utilizado para a extração da base de dados do SBE. É indicado que seja um dia típico e sem interferência de eventos sazonais e feriados para a melhor compreensão do padrão normal de deslocamentos. A depender do sistema de bilhetagem, as bases de dados dos diferentes modos podem ser de proprietários distintos e por isso, deve-se pensar na sua compatibilização. Dessa forma, as informações básicas para o desenvolvimento da metodologia e que devem estar presentes na base de dados são:

- a. **Número do cartão:** código que torna o cartão único e identifica transações realizadas pela mesma pessoa;
- b. **Data e hora da transação:** informação importante para entender o encadeamento das viagens e identificar transbordos/integrações;
- c. **Linha/serviço/estação:** identificação do serviço utilizado com a observação do modo de transporte. No caso de modos de alta capacidade é comum vir o nome da estação e para ônibus e vans, o número das linhas;
- d. **Coordenadas geográficas:** registro da latitude e longitude do ponto de embarque relacionado à transação. No caso de transportes de média e alta capacidade (metrô, trens etc.), a identificação do nome da estação já serve como ponto georreferenciado.

Com a extração da base de dados do SBE e compatibilização, se necessário, o próximo passo é a exclusão dos cartões que possuem uma única transação de acordo com

Alsger *et al.* (2018). O mesmo vale para cartões que possuem apenas transações de modos de TCF que não possuem nenhum ponto georreferenciado. Isso porque diferente de trens e metrô que costumam ter a indicação da estação de embarque, no caso de ônibus e vans não há o registro do ponto de ônibus utilizado por conta da cobrança da tarifa no interior do veículo. Após esse procedimento, já é possível separar a parcela de deslocamentos persistentes da amostra.

Outro ponto importante é a observação de transações de integração e transbordo. Em caso de benefício tarifário, é comum que as bases de dados indiquem se as transações seguidas são interdependentes, ou seja, que caracterizam uma integração tarifária. Essa indicação é necessária pois ao investigar os pontos de origem e destino, transações interligadas devem ser consideradas como um trecho único, influenciando na sua aferição.

Por exemplo, um passageiro utiliza duas linhas de ônibus para chegar ao trabalho e as mesmas duas linhas para voltar para casa. Se não considerado a integração, haverá a atribuição de um deslocamento em múltiplos destinos e não um deslocamento simples casa-trabalho. Dessa forma, os pontos considerados são os da primeira e da terceira transação do dia como origem e destino, respectivamente. Esses aspectos serão aprofundados no decorrer deste capítulo.

De forma análoga, os transbordos, transações interdependentes sem o benefício tarifário que por vezes podem estar associados a renda do passageiro, devem ser observados a partir de um intervalo de tempo determinado de acordo com as dimensões da região ou ainda na replicação do intervalo da integração tarifária. Por exemplo, uma cidade que permite integração tarifária entre diferentes modos para pessoas com renda de até 2 salários num período de até 2 horas. Para esse caso, pessoas com renda maior não receberiam o benefício, mas ainda sim teriam a possibilidade de realizar transações interdependentes com o pagamento da tarifa completa. Uma forma de abordar isso, seria dizer que transações dentro de um período de duas horas, independente da renda, seriam consideradas como interdependentes.

Por último, vale se atentar para a precisão das coordenadas geográficas e possíveis áreas de sombra, principalmente em áreas rurais da região de estudo. Isso garante a representatividade da amostra e a confiabilidade dos resultados e de suas análises.

A segunda coluna traz o exemplo de cartões com quatro transações. No primeiro, foram realizados 4 embarques em TCF sendo o segundo e o quarto integrações. Dessa forma, o ponto de origem e destino é correspondente a primeira e terceira transação, respectivamente. Já na segunda, houve uma integração entre TCF e TE. Assim, o ponto de origem corresponde a primeira validação e o destino, a segunda.

Vale destacar que para cartões com 4 transações sem integração, teríamos um perfil de deslocamento de múltiplos destinos. A grande dificuldade de incluí-los na análise é o entendimento limitado da relação entre as viagens apenas pela observação da base de dados de bilhetagem eletrônica. Como o objetivo deste estudo é analisar a resiliência dos deslocamentos, um perfil fora do ida e volta, ou seja, casa-trabalho-casa por exemplo, traria inconsistências às análises. Dessa forma, esses deslocamentos são retirados da amostra.

Por isso, para cartões com mais de 4 transações, deve se atentar para a possibilidade de integração com mais de duas pernas para que não seja considerado múltiplos destinos. De forma geral, incluir apenas os arranjos possíveis de cartões com 2, 3 e 4 transações e casos especiais de integrações de mais de 2 pernas já cobriria boa parte dos deslocamentos considerando a representatividade da amostra, como será mostrado no estudo de caso.

Cada região de estudo terá arranjos diferentes de acordo com o seu sistema de transporte público, mas os arranjos gerais aqui explicados auxiliam no entendimento dessa configuração. Além disso, por se tratar de um procedimento oneroso, é indicado que a definição dos pontos de origem e destino seja feito a partir de ferramentas de linguagem de programação computacional.

4.1.4. Cálculo das distâncias

Com os pontos de origem e destino definidos para cada cartão, a próxima etapa é o cálculo das distâncias de caminhada para realização do deslocamento frente à ameaça em questão. Dessa forma, com coordenadas geográficas dos pontos de acesso ao sistema TE (normalmente estações de trem e metrô), calcula-se a distância do ponto de origem definido até o embarque mais próximo (caminhada inicial) e do ponto de desembarque até o destino (caminhada final) como mostra a Figura 5. Com isso, essas distâncias são somadas e então classificadas em adaptáveis (até 2km) e transformáveis (maior que 2km).

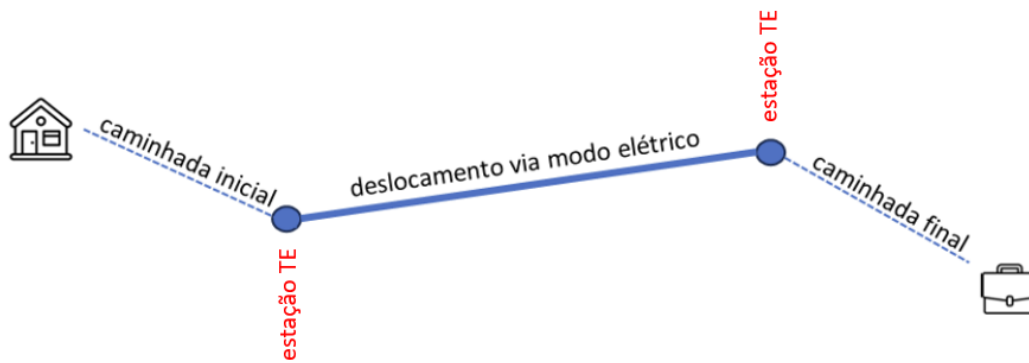


Figura 5. Esquema do cálculo de distâncias

Em alguns casos ainda, a obrigatoriedade de se utilizar o sistema TE geraria uma distância maior que seguir da origem ao destino por caminhada apenas. Por isso, essa distância também é calculada e prevalece a menor.

Ao considerar o objetivo da metodologia de se criar um diagnóstico do transporte público local e entender impactos de possibilidades de políticas públicas, é possível primeiro calcular as distâncias com o sistema TE existente para um “cenário 0” e propor o incremento de estações e serviços TE para outros cenários, bastando adicionar os novos pontos de acesso no cálculo das novas distâncias.

Para essa etapa, recomenda-se a utilização de ferramentas computacionais como o API *Distance Matrix* ou extensões a partir da malha viária do local em programas como Qgis e Arcgis.

4.1.5. Análise de resultados

Com as distâncias calculadas, os deslocamentos não persistentes podem ser classificados em adaptáveis (até 2km) e transformáveis (maior que 2km), e partir da soma dos persistentes e adaptáveis pode-se obter o percentual de resiliência. Tendo em vista a necessidade de se entender possíveis diferenças nas variadas áreas da região de estudo, é importante desagregar os resultados. Dessa forma, para além dos resultados gerais comparar as diferentes áreas pode auxiliar na compreensão da situação atual direcionada a pontos de maior vulnerabilidade, auxiliando no processo de tomada de decisão. No caso de municípios, divisões como distritos, áreas de planejamento, bairros etc. podem trazer uma visão mais completa de diagnóstico.

Com isso, é feito um comparativo da região do estudo dividido em suas áreas pertinentes relacionados ao cenário com a infraestrutura existente e a cenários com

possíveis incrementos. Para mais, para todos os cenários é feita uma análise estatística (quartis, valores máximos e mínimos e desvio padrão) dos deslocamentos adaptáveis e transformáveis com o objetivo de entender a distribuição da amostra, desigualdades e o consumo energético de combustível fóssil.

4.1.6. Considerações sobre a metodologia aplicada

Alguns pontos sensíveis precisam ser destacados sobre a metodologia. Não são levados em consideração os pagamentos em dinheiro. Com relação ao processamento dos dados é importante mencionar que as coordenadas geográficas gravadas no cartão são referentes ao local de acesso da pessoa ao transporte público e pode não ser exatamente o ponto de origem e destino absolutos. Por exemplo, uma pessoa que sai de casa e anda uma quadra para pegar o ônibus, a coordenada geográfica será a do ponto de ônibus e não a da sua casa. Outra questão é a possível interferência de um deslocamento que não foi registrado no cartão. Nesse caso, o passageiro poderia ter utilizado um modo de transporte privado entre transações e causaria uma brecha na sua movimentação do dia, por exemplo.

A metodologia também não leva em conta o caráter essencial ou não essencial das viagens frente ao esgotamento de combustíveis fósseis, principalmente por não ter o registro do motivo da viagem e outras informações que podem ser relevantes. O contexto adverso por si só pode excluir a necessidade daquele passageiro em realizar o deslocamento devido a impactos causados nas suas atividades.

Sobre as viagens adaptáveis, essa análise não contempla as subjetividades acerca da mudança do padrão de viagens, ou seja, não é possível atestar possíveis restrições à escolha modal, ao pagamento da nova tarifa, a limitações físicas que impossibilitem o passageiro de caminhar ou ainda deslocamentos negativos em relação a integração.

Essa metodologia também não leva em consideração a capacidade da oferta dos modos utilizados para a parcela adaptável devido ao aumento de sua demanda. Também, não avalia a mudança modal para opções privadas, mas considerando que esses são em sua grande maioria movidos a combustíveis fósseis, é provável que também careçam dessa fonte de energia. Por último, não aborda a adaptabilidade a outros modos ativos como bicicleta pela necessidade de se entender melhor a infraestrutura para tal.

Mesmo com tais fragilidades, a metodologia tem efetividade ao considerar o tamanho da amostra utilizada, que dificilmente seria alcançada por métodos de questionário e por trazer uma análise quantitativa a um tema que por vezes é abordado apenas de maneira qualitativa.

4.2. Estudo de caso do município do Rio de Janeiro

Neste tópico, serão discutidos em sua primeira parte o transporte do município do Rio de Janeiro com a apresentação dos modos que compõem o seu sistema com foco no metrô, trem, VLT (Veículo Leve sobre trilhos) que são elétricos e o BRT (Bus Rapid Transit) que será utilizado como sugestão de política pública para melhoria dos níveis de resiliência energética. Depois, os parâmetros gerais utilizados no estudo de caso são apresentados e por fim, a explicação da matriz de integração do município e os arranjos considerados para o processamento da O/D.

4.2.1. O sistema de transporte e áreas de planejamento.

O Rio de Janeiro é o segundo município mais populoso do país com 6.320.446 habitantes (IBGE, 2010). Com 163 bairros, é dividida em 5 áreas de planejamento (AP) que servem para orientar o desenvolvimento urbano segundo similaridades e diferenças entre as regiões e foram determinadas por critérios de compartimentação ambiental, de características histórico-geográficas e de uso e ocupação do solo. A cidade é marcada por diferentes formas de relevo e a presença de corpos hídricos que dificultam o deslocamento de sua população, além do agravante da ocupação desigual e a concentração de Pólos Geradores de Viagens (PGVs) em determinadas áreas. A Figura 6 mostra a organização do município em relação às suas APs e o uso e ocupação do solo.

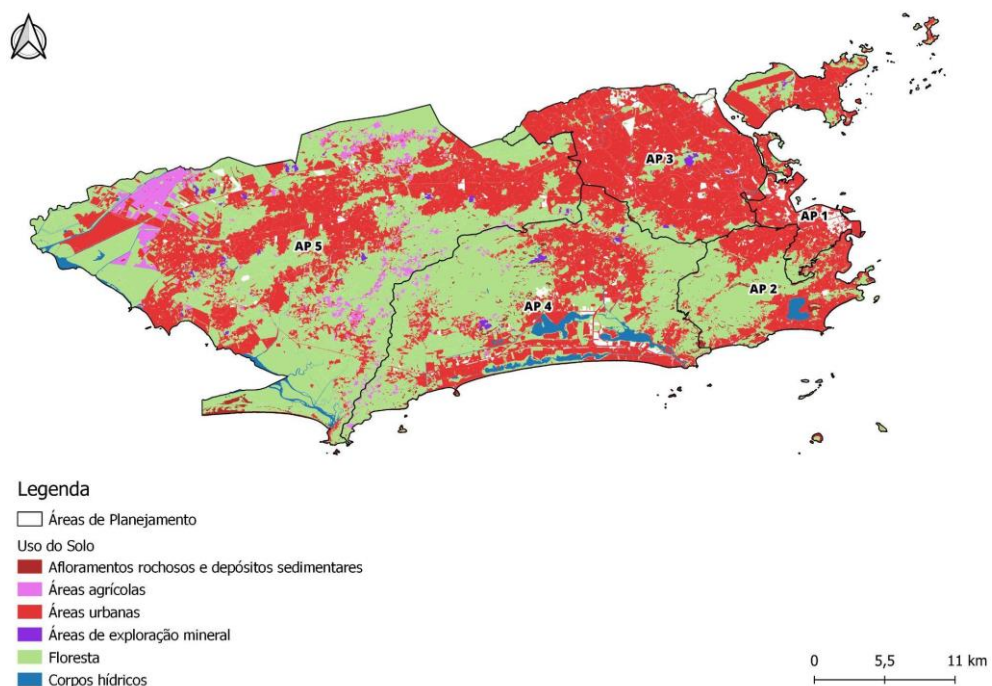


Figura 6. Uso e ocupação do solo do Rio de Janeiro

Milhões de pessoas circulam diariamente através de sua complexa rede de transportes que é composta por centenas de linhas municipais e intermunicipais, três corredores de Bus Rapid Transit (BRT), três linhas de metrô com 41 estações, três linhas do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) com 29 estações, cinco ramais de trens urbanos com 60 estações e uma rede hidroviária que interliga o centro da cidade às suas ilhas (Paquetá e Ilha do Governador).

O transporte elétrico (TE) da cidade é composto pelo trem, metrô e VLT. E diferente de outras cidades do Brasil que já possuem ônibus movidos a combustíveis alternativos em operação, toda a frota de ônibus e vans da cidade do Rio é movida a diesel. A Figura 7 mostra as estações do sistema elétrico e seu raio de distância de caminhada para acesso em até 2km em faixas de 500m.

Essa limitação do sistema elétrico impacta o objeto desta pesquisa visto que numa ocasião de escassez de combustível fóssil, os modos elétricos seriam essenciais para a manutenção dos deslocamentos na cidade. Para mais, os deslocamentos para serem considerados adaptáveis (no cenário 0) devem ter necessariamente a sua origem e destino inseridos na região de influência direta da estação, somando até 2km de caminhada máxima como será explicado no subcapítulo a seguir.

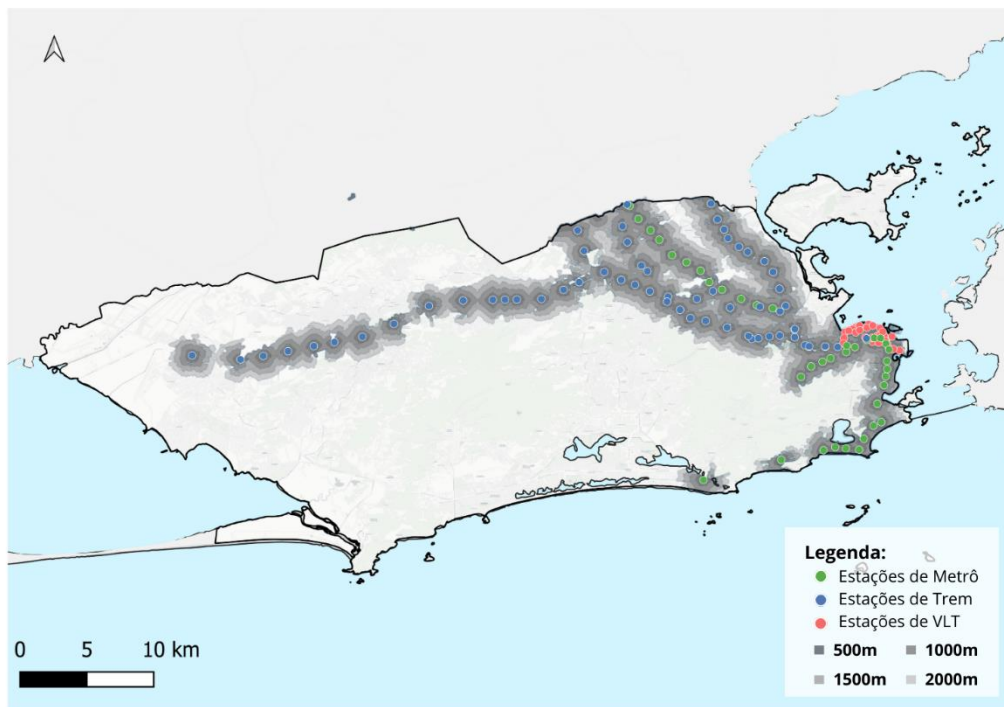


Figura 7. Abrangência do sistema de TE no município

A AP1 concentra os bairros do centro da cidade, incluindo um aeroporto, o porto e a área com o maior número de oportunidades de emprego e o centro histórico. Nos últimos 30 anos perdeu quase 27% de seus habitantes entre 1970 e 2000. Por outro lado, atrai diariamente quase um milhão de pessoas que trabalham nesta região, principalmente no setor de serviços. No período 1991/2000 a população decresceu à taxa de 12,6%, maior entre todas as regiões do município. O Centro (-20,3%) e São Cristóvão (-15,1%) sofreram os maiores decréscimos populacionais, seguidos de Rio Comprido (-10,5%), Zona Portuária (-9,3%) e Santa Teresa (-7,6%). A única RA a apresentar crescimento demográfico foi a da Ilha de Paquetá (+5,0%) (Rio de Janeiro, 2006).

Ao analisar a influência das estações de trem, metrô e VLT na AP1, pode-se perceber uma cobertura quase que total da região considerando a distância máxima de caminhada de 2km. Entretanto, o sistema não atende os bairros do Caju, Santa Tereza e da Ilha de Paquetá, de acordo com a Figura 8.

A AP2 inclui os bairros com o maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da cidade, os principais pontos turísticos e uma forte área comercial. A AP 2 corresponde à área de expansão da cidade promovida por implantação do sistema de bondes, na segunda metade do século XIX. Com sua configuração geográfica entre o mar e o Maciço da Tijuca, é a região que simboliza a imagem da Cidade do Rio de Janeiro. Convivem historicamente as edificações de luxo e a ocupação irregular da população de baixa renda, que ocupam principalmente as encostas na AP 2. A população tem se mantido estável. Os dados apontam uma perda de população da ordem de 2,3% entre 1970 e 2000. Por região administrativa, o padrão demográfico não é homogêneo - Copacabana sofreu significativa redução de 32,6%, enquanto Vila Isabel cresceu 10,7%. A Rocinha merece destaque por seu expressivo crescimento de 31,3% no período 1991 e 2000. (Rio de Janeiro, 2006)

Para a AP2, as estações de TE não atendem as regiões do Vidigal, Urca, Alto da Boa Vista, Horto, Lagoa e parte do Leme, Humaitá e Grajaú, conforme **Figura 9**. Assim, deslocamentos com origem ou destino nesses bairros não seriam adaptáveis.

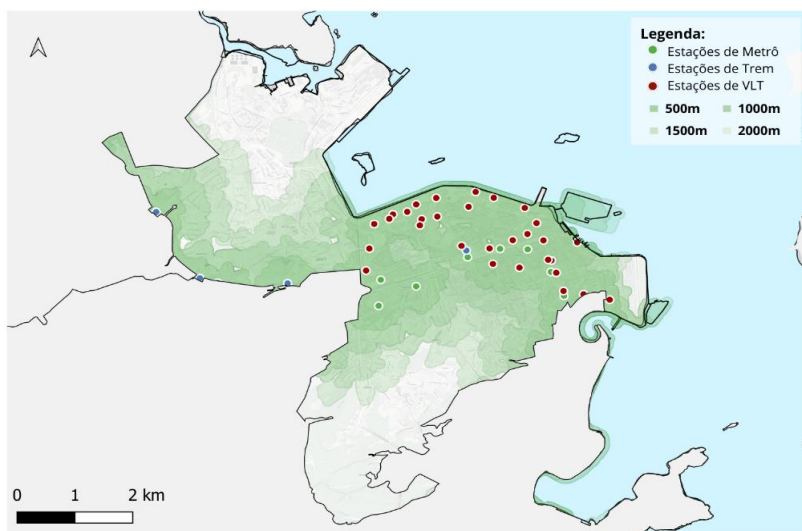


Figura 8. Abrangência do sistema de TE na AP1

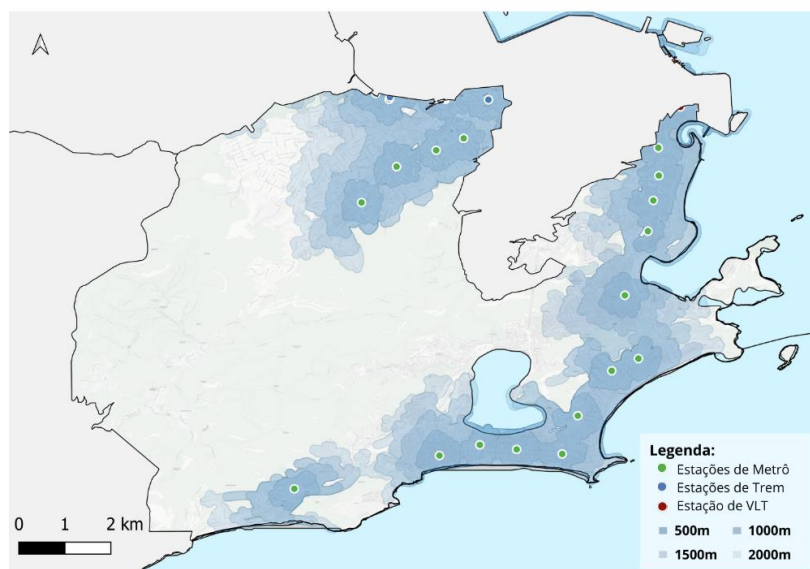


Figura 9. Abrangência do sistema de TE na AP2

De cada cinco cariocas, dois moram na AP 3 - o maior contingente populacional do município (40,2%). E, de cada dois moradores de favela, um está na AP 3 (49,9% da cidade). A população cresceu no período de 1991/2000 à taxa de 1,4%. Durante muito tempo, as amplas possibilidades de expansão horizontal comandaram a ocupação da AP 3, gerando um espraiamento da região em comparação com as outras. Nos últimos anos, a estrutura urbana da AP 3 apresenta-se em processo de mudanças. (Rio de Janeiro, 2006) Em relação a AP3, boa parte da região tem cobertura do sistema elétrico exceto as regiões da Cidade Universitária e da Ilha do Governador, de acordo com Figura 10.

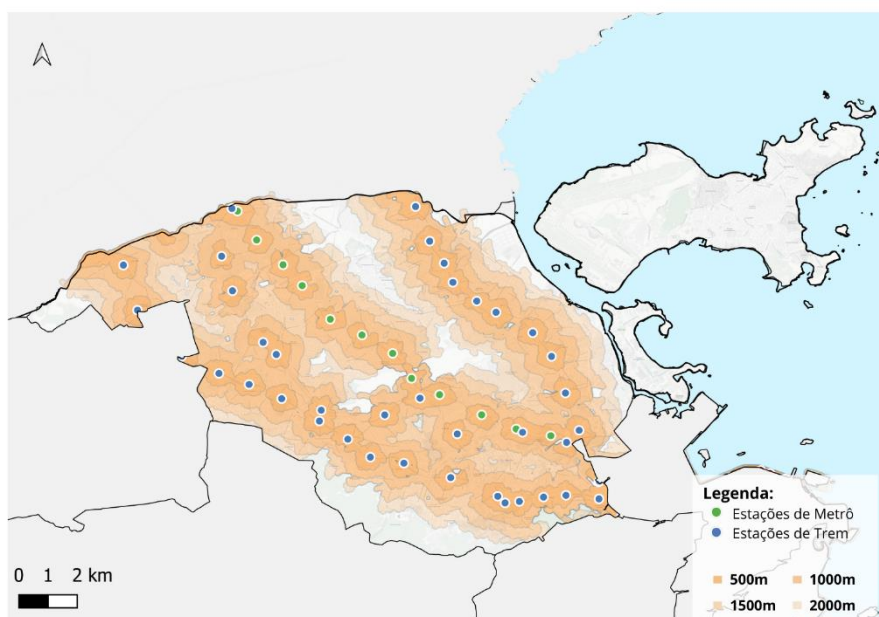


Figura 10. Abrangência do sistema de TE na AP3

A AP4 é uma extensa área de baixada, limitada pelos maciços da Tijuca e Pedra Branca e pelo Oceano Atlântico, mantida até a década de 1970/80, sem inserção na malha urbana, em função das próprias características geográficas que lhe dificultavam o acesso, sendo sua base rural, com predominância de sítios e chácaras (Rio de Janeiro, 2006). A AP4 hoje inclui uma forte região comercial da Barra da Tijuca, propiciando muitas oportunidades de emprego na região. O atendimento na AP4 limita-se às proximidades do Jardim Oceânico e parte do bairro Itanhangá. Essa região é a segunda maior da cidade e a que possui menos estações de TE (apenas 1) como mostra a Figura 11.

A AP5 foi tratada como última fronteira da urbanização do Rio de Janeiro. Nela, foram mantidos até as últimas décadas os usos agrícolas e as extensas propriedades, que foram se extinguindo com a pressão da urbanização, a partir da década de 1960. Embora cortada pela ferrovia, que chegava a Santa Cruz, fatores como o tamanho da região e a ausência de serviços, bloquearam a continuidade da expansão urbana, inicialmente concentrada no entorno das estações ferroviárias. Gradativamente, a ocupação foi sendo expandida, o que é atestado pelo crescimento populacional da área, de 124,3% nos últimos 30 anos (1970/2000) (Rio de Janeiro, 2006).

O sistema de TE na AP5 atende os bairros de Deodoro, Vila Militar, Magalhães Bastos, Realengo, Padre Miguel, Bangu, Senador Camará, Santíssimo, Senador Vasconcelos, Campo Grande, Inhoaíba, Cosmos, Paciência, Santa Cruz. Entretanto, é preciso destacar que bairros grandes como Campo Grande e Santa Cruz tem seu

atendimento limitado às áreas centrais. Não existe atendimento às regiões de Sepetiba e Guaratiba. A **Figura 12** mostra a disposição das estações na região.

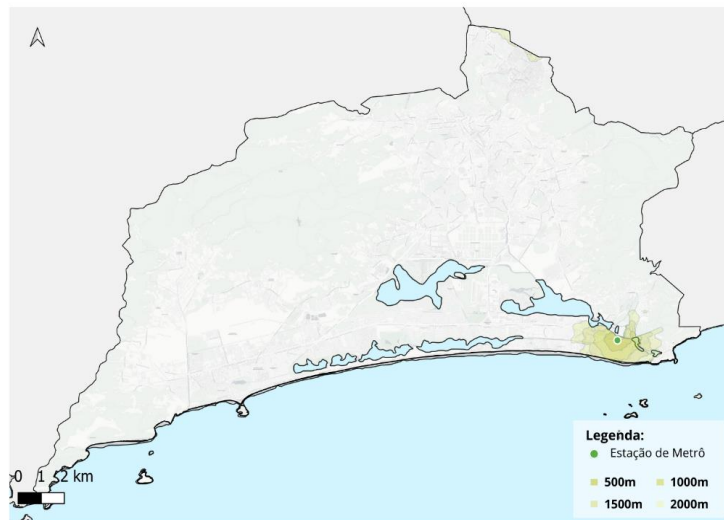


Figura 11. Abrangência do sistema de TE na AP4

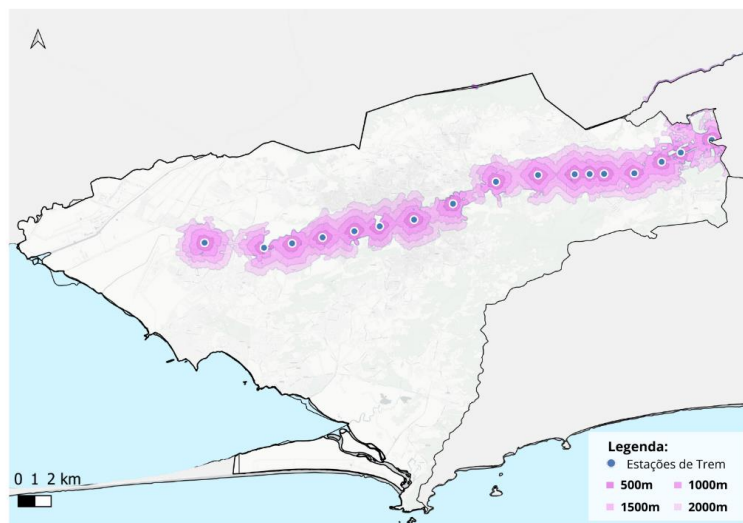


Figura 12. Abrangência do sistema de TE na AP5

O sistema de BRT do município do Rio de Janeiro teve o início de sua operação em junho de 2012 com a abertura do corredor Transoeste. Ele faz ligação entre a estação terminal da linha 4 de metrô Jardim Oceânico na Barra da Tijuca às estações Santa Cruz e Campo Grande do trem, com passagem pelo Terminal Alvorada que abriga diversas linhas municipais de ônibus regular. Possui 56 quilômetros de extensão e 66 estações e abrange as APs 4 e 5 (MOBI Rio, 2024).

O corredor Transcarioca faz a ligação da Barra da Tijuca pelo Terminal Alvorada chegando ao Aeroporto Internacional Tom Jobim com integração aos trens pela estação Madureira e ao metrô pela estação Vicente de Carvalho. Possui 46 estações distribuídas por 39 quilômetros de extensão e atende as APs 3 e 4. O corredor Transolímpica liga o Terminal Recreio a Deodoro onde faz integração com o trem. Possui 21 estações em 23 quilômetros de extensão e atende as APs 4 e 5. Operando forma integrada, possuem serviços que podem interligar a estação de um corredor para a de outro (MOBI Rio, 2024). O sistema pode ser observado na Figura 13 com os pontos de integração com o sistema de trens e metrô.

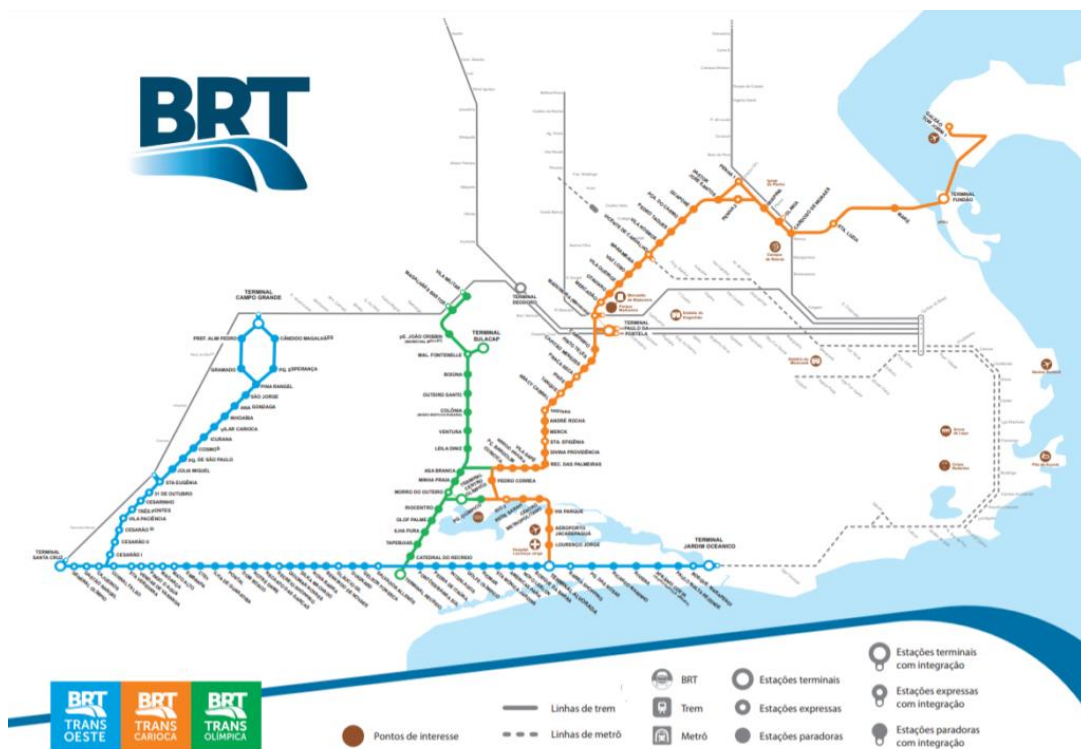


Figura 13. Abrangência do sistema de BRT

Fonte: Mobi Rio, 2024.

4.2.2. Parâmetros gerais do estudo de caso

A base de dados de bilhetagem eletrônica utilizada no estudo de caso do município do Rio de Janeiro foi a dos cartões riocard expresso e vale transporte que transacionaram no dia 17 de maio de 2023 (quarta-feira) no sistema municipal. Essa forma de pagamento é aceita em todos os modos de transporte do município e são amplamente difundidos, principalmente pela possibilidade de se obter benefício tarifário a partir de seu uso. A escolha desse dia se deu por se tratar de um dia útil sem a

interferência de eventos sazonais e feriados. Dessa forma, foi garantida a observação do comportamento padrão de deslocamentos.

A base de dados extraída possuía, além de outras informações não utilizadas na metodologia, os seguintes campos:

- a. Código do cartão;
- b. Data/hora da transação;
- c. Linha/serviço: código da linha ou serviço do sistema de ônibus ou vans;
- d. Estação: nome da estação para os sistemas de metrô, trens, barcas e VLTs;
- e. Latitude e longitude: coordenadas geográficas do ponto de embarque para o sistema de ônibus e vans a partir dos validadores online do sistema riocard, quando houver;
- f. Integração: indicativo se a transação se caracteriza como uma integração tarifária em relação à anterior.

Pela falta da informação sobre transbordos, foi adicionada uma coluna para sinalizar transações interdependentes feitas num período menor que 3 horas como definido no BUC e BUI e que não receberam o benefício tarifário. Dessa forma, utilizando o recurso de linguagem de programação em R, foram sinalizadas as validações que se encaixavam nesse critério. Essa etapa é importante para assegurar que os pontos de origem e destino do TCF sejam verificados de maneira correta.

Foram propostos dois cenários de modo a validar a metodologia e entender os níveis de resiliência atuais e pós sugestão de incremento na infraestrutura no município. Para o cenário 0, os modos elétricos disponíveis são os já existentes, sendo eles: trem, metrô e VLT. Para o cenário 1, com o incremento da infraestrutura, o BRT passa a integrar o sistema elétrico, numa tentativa de melhorar a porcentagem de deslocamentos resilientes. A escolha do BRT se deveu a sua importante abrangência nas APs 4 e 5, maiores regiões do município e que possuem poucas opções de estações de TE. Para mais, o BRT, como sendo um transporte de média/alta capacidade também teria mais facilidade para absorver a demanda proveniente de deslocamentos adaptáveis.

A verificação dos pontos de origem e destino foi realizada a partir da elaboração de um script na Linguagem R de modo a respeitar as disposições do Apêndice A e trazer

mais agilidade e confiabilidade ao processo. As distâncias de deslocamento foram calculadas a partir da *API Distance Matrix* a partir das coordenadas geográficas das estações de acordo com o cenário em questão e os pontos de origem e destino.

Alguns pontos sensíveis merecem ser destacados sobre a aplicação metodologia para o município do Rio de Janeiro. Formas de pagamento como dinheiro e cartões unitários e específicos a modos de transporte não foram adicionados no estudo. Sobre a base de dados, nem todos os cartões riocard expresso e vale transporte puderam ser considerados devido à falta de georreferenciamento das transações. Esse problema se deu devido à ausência do validador online no veículo ou a problemas no envio dos dados por instabilidade da rede ou áreas de sombra.

Por isso, na análise de resultados com a separação dos deslocamentos persistentes que não precisam de coordenadas geográficas, sobraram os adaptáveis e transformáveis em que não foi possível utilizar todos os cartões. Dessa forma, a amostra foi analisada de forma proporcional. Por exemplo, para o cenário 0, 9% da amostra de 1.185.619 cartões foi considerada persistente (106.719). Entretanto, apenas 128.955 cartões dos 91% restante da amostra (1.078.900) tiveram sua origem e destino validados. Assim, a parcela persistente foi incluída na análise respeitada as devidas proporções de acordo com a amostra total e os 128.955 cartões representaram o 91% da amostra.

Para as análises, os resultados foram divididos por AP de acordo com a origem verificada no processamento da O/D. Para o caso 3 de 4 transações explicitada no Apêndice A, o ponto de origem verificado não coincide com a primeira transação. Para garantir a consistência das análises, para esses casos, a origem (apenas para o comparativo entre regiões) foi alocada na AP correta de acordo com a primeira transação.

4.2.3. Matriz de integração e arranjos de transações considerados

O pagamento da tarifa do transporte na cidade é realizado através de um sistema de bilhetagem eletrônica disponível em todos os modos de transporte público coletivo com o auxílio dos cartões riocard (expresso, vale transporte e empresarial), além dos cartões idealizados especificamente por algum modo de transporte como é o caso dos cartões unitários do metrô, conhecidos como Giro. Esse tipo de pagamento em relação ao feito em dinheiro confere ao sistema de transporte do Rio uma maior rapidez e comodidade no embarque de passageiros, além de possibilitar o registro de informações relevantes para o planejamento da rede.

No caso do Rio de Janeiro, o sistema de bilhetagem eletrônica também permite a prática de benefícios tarifários como o Bilhete Único Carioca (BUC) e o Bilhete Único Intermunicipal (BUI). O BUC é um benefício tarifário de abrangência municipal habilitado para utilização em qualquer cartão Riocard Mais e que permite a integração entre os modos de transporte destacados na Figura 14 em um intervalo máximo de até 3 horas.

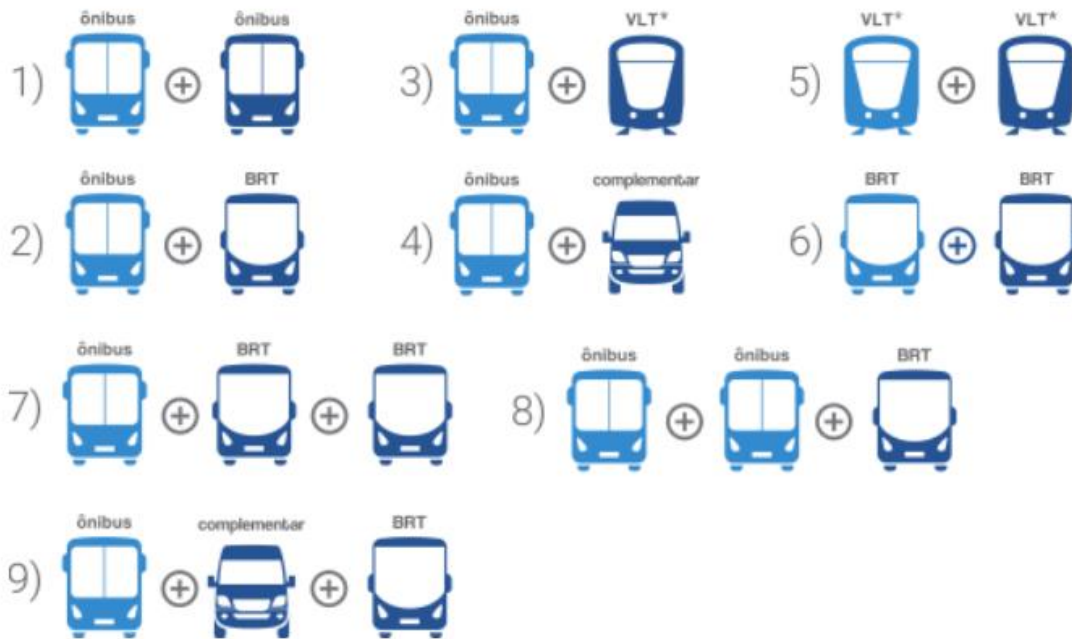


Figura 14. Integrações do BUC
Fonte: Adaptado de Rio Bilhete Único, 2023.

Já o BUI é um benefício social aplicado nas tarifas de transporte público concedido pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro diretamente ao cidadão por meio do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF). Essa política é válida para os arranjos de modos de transporte ilustrados na Figura 15 num período de no máximo 3 horas como no BUC. Até o momento da pesquisa, para ser contemplado pelo benefício, o passageiro poderia receber um salário bruto de até R\$7507,49.

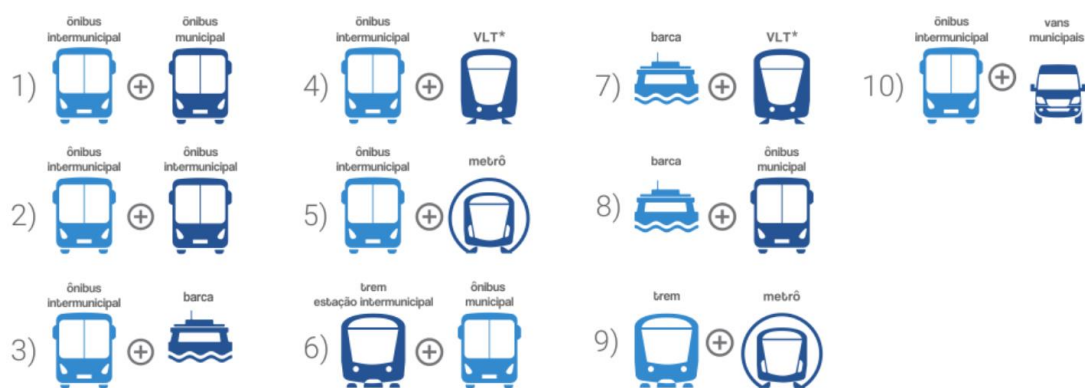


Figura 15. Integrações do BUI
Fonte: Adaptado de Rio Bilhete Único, 2023.

Semelhante ao descrito no item da metodologia sobre o processamento O/D, a partir do entendimento da matriz de integração do município do Rio de Janeiro foi possível verificar os arranjos possíveis para a aferição dos pontos de origem e destino do sistema TCF. O Apêndice A traz todas as configurações válidas que foram limitadas a cartões com 2, 3 e 4 transações para todos os modos de transporte e 5 e 6, apenas para o caso especial do BRT. Todas elas serão explicadas neste item.

Pela característica de aferição do destino a partir da transação seguinte, todos os cartões com apenas uma transação tiveram que ser descartados. Para os cartões com 2 transações, no primeiro exemplo, há uma integração/transbordo sendo a primeira validação em um modo de transporte movido a combustível fóssil (TCF) e o segundo em um modo de transporte elétrico (TE). Dessa forma, pode se aferir o desembarque do TCF como o embarque do TE. Já no segundo exemplo, tratando-se de duas transações sem integração/transbordo, o ponto de destino é considerado como da segunda transação. O terceiro prevê ainda a utilização de um modo TCF na ida e um TE na volta, ou vice-versa. Assim, semelhante ao segundo exemplo, a origem é na primeira transação e o destino na segunda.

Para os cartões com 3 transações de TCF, tendo uma integração/transbordo entre as duas primeiras transações, o destino seria o ponto de embarque do terceiro trecho. Do contrário, com a integração/transbordo entre a segunda e terceira transação, o destino seria o ponto de embarque da segunda transação.

Para os cartões com 4 transações, foram verificadas as integrações entre TCF e TE. Para 4 transações com integração apenas entre TCF, o ponto de destino seria o ponto de embarque do terceiro trecho. Nos casos de integração entre TCF e TE, começando com

TCF o destino foi o ponto de integração com o TE. Começando com um TE, o destino foi a segunda transação do TCF.

Os cartões com 5 e 6 transações foram considerados apenas quando relacionados a transações do BRT de acordo com a Figura 14. No caso de cartões com 5 transações, é necessário que haja uma integração de duas pernas com o BRT e necessariamente uma segunda integração/transbordo simples de modo qualquer. Caso a integração com o BRT seja no trajeto de ida, a origem é a primeira transação e o destino a quarta. Caso seja no trajeto de volta, o destino por sua vez é a terceira transação. Para cartões com 6 transações, deve haver necessariamente 2 integrações do BRT com duas pernas. Dessa forma, a origem segue sendo a primeira transação e o destino a quarta.

Os cartões com 5 ou mais transações sem incluir o BRT não foram considerados pela dificuldade em se aferir corretamente as origens e destinos pelo comportamento de múltiplos destinos e pela falta de entendimento da dependência de um deslocamento em relação ao outro. Sendo assim, seria necessário mais que a investigação dos dados de bilhetagem. Outros arranjos não foram considerados porque não seria possível aferir o destino ou porque não traria ganho significativo para a amostra.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção traz a apresentação e discussão dos resultados obtidos a partir aplicação da metodologia explicada no capítulo 4. Primeiro, será abordado o cenário 0 (C0), com a classificação dos deslocamentos em persistentes, adaptáveis e transformáveis considerando apenas o metrô, trem e VLT do município do Rio de Janeiro como modos elétricos disponíveis, além das análises estatísticas. Para o segundo item (C1), será feito o comparativo entre os resultados obtidos em C0 e C1, mostrando o impacto que a inserção do BRT ao sistema elétrico traria para a mobilidade urbana do Rio.

A base de dados inicial contou com 1.185.619 cartões que transacionaram no sistema de transporte público do Rio de Janeiro no dia 17 de maio de 2023. Desses, foi possível aferir os pontos de origem e destino de 141.265, o que representa um grau de confiança de 99% e margem de erro de 0,34%. Em relação a amostra dividida por APs, apenas a AP1 obteve uma margem de erro maior que 1% como mostra a Tabela 1. Esse dado confirma a representatividade da amostra utilizada para a geração dos resultados deste estudo e que serão discutidos no próximo item.

Tabela 1. Representatividade da amostra por região.

	População (Data Rio, 2010)	Amostra	Grau de confiança	Margem de erro
Município	6.320.446	141.265	99%	0,34%
AP1	297.976	10.718	99%	1,25%
AP2	1.009.170	17.896	99%	0,96%
AP3	2.399.159	53.897	99%	0,55%
AP4	909.368	31.875	99%	0,71%
AP5	1.704.773	26.879	99%	0,78%

5.1. Análise a partir do sistema elétrico atual (trem, metrô e VLT)

Para o C0 que considera a infraestrutura do sistema elétrico já existente, a quantidade de deslocamentos persistentes, ou seja, realizados utilizando apenas modos TE foi de 9% para a amostra total. Quando categorizados de acordo com a sua origem, 19% dos deslocamentos da AP1 foram considerados persistentes, 22% da AP2, 9% da AP3, 2% da AP4 e 5% da AP5 de acordo com a Figura 16. A AP2 região com o maior IDH da cidade mostra-se como a região com maior aderência ao sistema elétrico sem a dependência de TCF. A AP4 que conta apenas com 1 estação de TE ocupa a última posição em relação às outras regiões. Mesmo a AP5 tendo 17 estações de trem, o número

de viagens persistentes foi de apenas 5% e pode ser explicado principalmente pelo seu tamanho (maior AP do município), dependendo de modos de TCF para alimentação do sistema TE ou ainda, a preferência por modos de TCF visto os problemas de segurança pública e qualidade da oferta do trem.

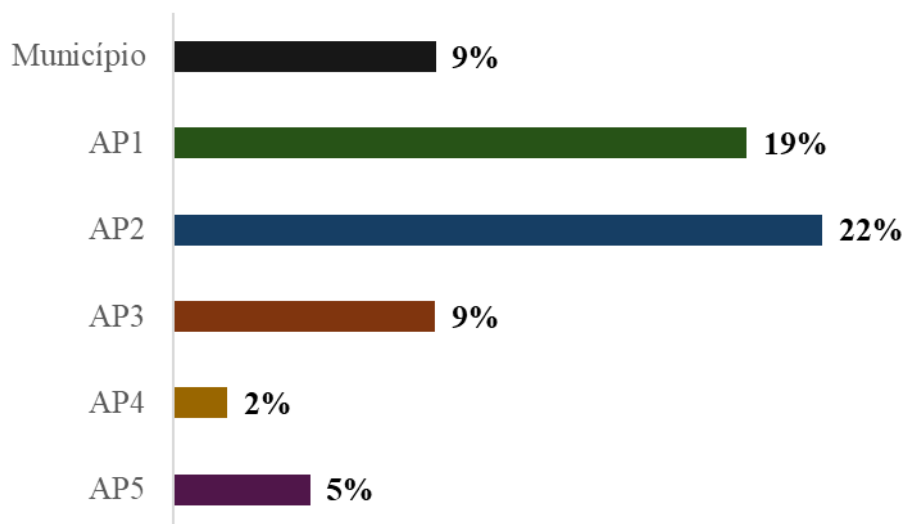


Figura 16. Deslocamentos persistentes por região (C0).

Com a separação das viagens persistentes da amostra (9%), a parcela restante (91%) corresponde aos deslocamentos adaptáveis e transformáveis. A partir dos pontos de origem e destino aferidos, foi possível calcular as distâncias necessárias para desempenhar o deslocamento. Com isso, foi realizada uma análise dos resultados com a separação das viagens adaptáveis (distâncias de até 2km) das transformáveis (distâncias maiores que 2km) e também uma análise estatística para compreender a distribuição dessa parte da amostra considerando a região do estudo.

Em relação as viagens adaptáveis, o município do Rio teve um resultado de 31%, índice menor que as APs 1, 2 e 3 com 41%, 37% e 42%, respectivamente, e maior que a AP4 com 10% e a AP5 com 27% segundo Figura 17. A AP3 foi a região com o melhor índice de adaptabilidade, o que demonstra a boa cobertura do sistema TE na região. Porém, quando relacionada a porcentagem de deslocamentos persistentes, é observável uma aderência muito maior ao modo de TCF. Esse contexto pode ser explicado pelas condições desfavoráveis de operação do trem, modo de TE com maior número de estações na região. Além disso, para toda a cidade os modos de TE disponíveis se configuram num arranjo radial em relação ao Centro do Rio e para muitos deslocamentos, utilizar apenas TE significaria um deslocamento negativo para realizar integrações e/ou o pagamento de

uma tarifa maior. As APs 1 e 2 se confirmam como as melhores regiões em relação a infraestrutura frente ao contexto adverso aqui abordado. As APs 4 e 5 ocupam os últimos lugares.

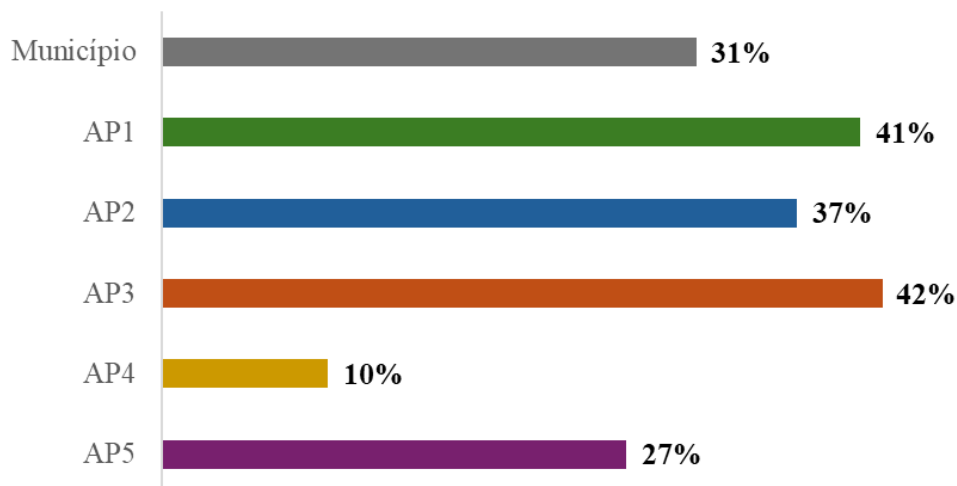


Figura 17. Deslocamentos adaptáveis por região (C0)

Ao observar a amostra dos deslocamentos adaptáveis e transformáveis a partir de uma análise estatística, as diferenças regionais são mais evidenciadas como mostra a Tabela 2. Todas regiões, exceto a AP4 com 0,02, partem do valor mínimo de 0,01 No primeiro quartil, a AP4 é a única a ultrapassar o limite para ser considerada adaptável com 4,26. As APs 1, 2 e 3 aparecem próximas com 1,12, 1,14 e 1,24, respectivamente. Depois, o município do Rio com 1,53 e a AP5 com 1,78.

Tabela 2. Análise estatística dos deslocamentos adaptáveis e transformáveis (C0)

	Valor mínimo	1º quartil (25%)	Mediana (50%)	3º quartil (75%)	Valor Máximo	Desvio padrão
Município	0,01	1,53	2,93	6,28	49,88	5,45
AP1	0,01	1,12	1,99	3,18	41,76	1,84
AP2	0,01	1,14	2,15	3,52	41,84	2,25
AP3	0,01	1,24	2,14	3,72	41,47	3,05
AP4	0,02	4,26	8,78	12,84	48,25	5,14
AP5	0,01	1,78	3,28	4,59	49,88	2,26

Para o 2º quartil ou mediana, a única região a permanecer dentro dos limites da adaptabilidade é a AP1 com 1,99. As APs 2 e 3 continuam próximas com 2,15 e 2,14, em ordem. A AP5 se distancia das demais chegando a 3,28 e a AP4 salta para 8,78. O município chega a 2,93. Para o 3º quartil, os valores para as APs 1, 2 e 3 se distanciam um pouco entre si com 3,18, 3,52 e 3,72. A AP4 continua com os níveis mais altos, chegando a 12,84 e a AP5 alcança 4,59. O Rio no geral, muito influenciada pelos números da AP4 chega a 6,28.

A partir do 3º quartil os valores para as 6 regiões dão um salto, representando números atípicos (*outliers*) que significam condições muito especiais de deslocamentos com valores máximos acima de 40 km. Mais uma vez as APs 1, 2 e 3 permanecem com os valores mais baixos próximos a 40 km (41,76, 41,84 e 41,47, respectivamente). A AP4 ligeiramente abaixo da AP5 (maior AP em extensão territorial) pela primeira vez, com 48,25 contra 49,88.

O desvio padrão, que mede o grau de dispersão de um conjunto de dados, ou seja, quanto mais próximo de 0 mais homogêneo é o conjunto, apresenta o maior valor para o município do Rio de Janeiro. Isso se dá devido ao conjunto das diferentes regiões, representando de fato uma amostra muito heterogênea. O segundo maior valor foi o da AP4 (5,14). Esse valor pode ser explicado pela localização da única estação em um dos seus extremos da região, aumentando assim as distâncias dos deslocamentos com origem nesta AP. A AP3 aparece como o terceiro maior valor (3,05) devido a sua falta de cobertura em sua área insular (Ilha do Governador e Cidade Universitária). Depois as APs 5 e 2 aparecem próximas com 2,26 e 2,25. Em relação a AP5, mesmo sendo a segunda pior em nível de resiliência, o baixo valor do desvio padrão se dá devido a distribuição quase que equidistante de suas estações em relação a sua área ocupada/urbanizada. A AP1, menor região e com o maior número de estações, aparece com o menor valor de desvio padrão, 1,84.

Por fim, pode-se quantificar os deslocamentos resilientes, representados pela soma dos persistentes e adaptáveis na Figura 18. Esse resultado coincide com o 3º quartil considerando que os menores valores deste quartil representam regiões com maior resiliência. A AP1 aparece na frente junto a AP2 e AP3 com 60% (19% persistentes + 41% adaptáveis), 59% (22% + 37%) e 51% (9% + 42%). De acordo com a classificação de Martins *et al.* (2019), as 3 regiões têm seu nível de resiliência classificado como médio.

O município e a AP5 são classificadas como nível de resiliência baixo com 40% (9% + 31%) e 32% (5% + 27%). A AP4 é a pior região com 12% (2% + 10%), sendo

classificada como nível muito baixo de resiliência e coincide como sendo também o pior desvio padrão que em termos práticos significa a AP com mais desigualdades para realizar os deslocamentos. O Apêndice A traz o resumo da classificação dos deslocamentos das APs e do município do Rio para o cenário C0.

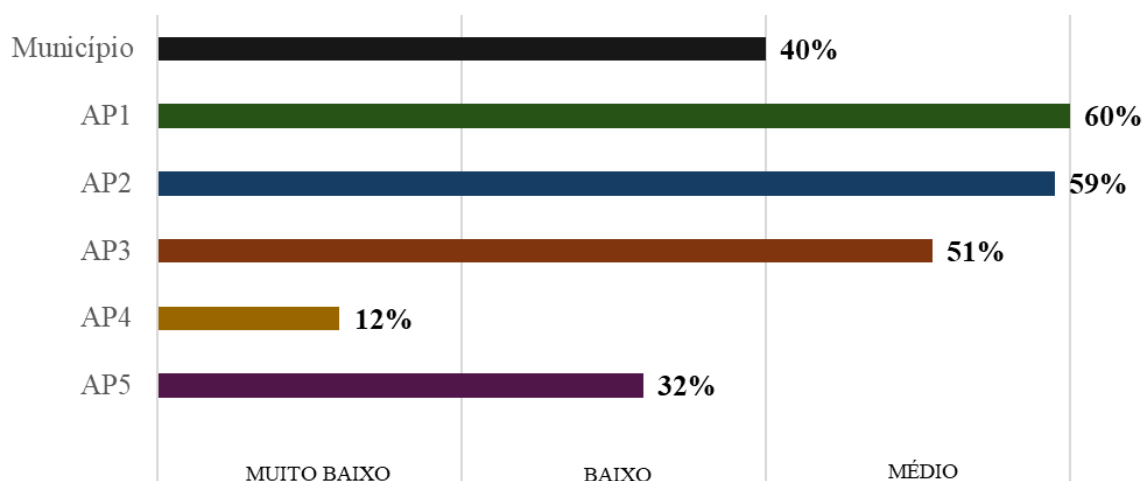


Figura 18. Nível de resiliência por região (C0).

5.2. Impacto da inserção do BRT ao sistema elétrico

Para o C1, foi proposto a eletrificação do BRT, sendo considerado então parte do sistema elétrico junto ao trem, metrô e VLT. Com esse incremento na infraestrutura, a porcentagem de deslocamentos persistentes do município foi de 9% para 11% de acordo com a Figura 19. Com o olhar direcionado as APs, a AP4 obteve o maior crescimento com 4 pontos percentuais, saindo de 2% para 6%. Com a inserção do BRT, a AP4 que antes possuía apenas uma estação de TE, passa a integrar também parte dos corredores Transcarioca, Transolímpica e Transoeste.

A AP2 aparece em seguida com um aumento de 3% (22% para 25%). Para esse cenário, parte da Transcarioca passa a integrar o seu sistema de TE, impulsionando o índice de persistência da região. Para a AP5, com a inserção de parte da Transolímpica e Transoeste, o aumento foi também de 2%, chegando a 7%. Para as APs 1 e 2, mesmo que os corredores não estejam localizados em suas áreas, a melhoria da infraestrutura do destino fez com que as regiões aumentassem em 1% e 3%, chegando a 20% e 25%, respectivamente.

O baixo aumento dos índices de persistência mostra a pouca aderência ao BRT, estando ligado a escolha modal por serviços convencionais de ônibus e vans. Esse

contexto é motivado principalmente pela percepção negativa de qualidade da oferta do BRT que até o momento da pesquisa sofria com uma fuga de demanda.

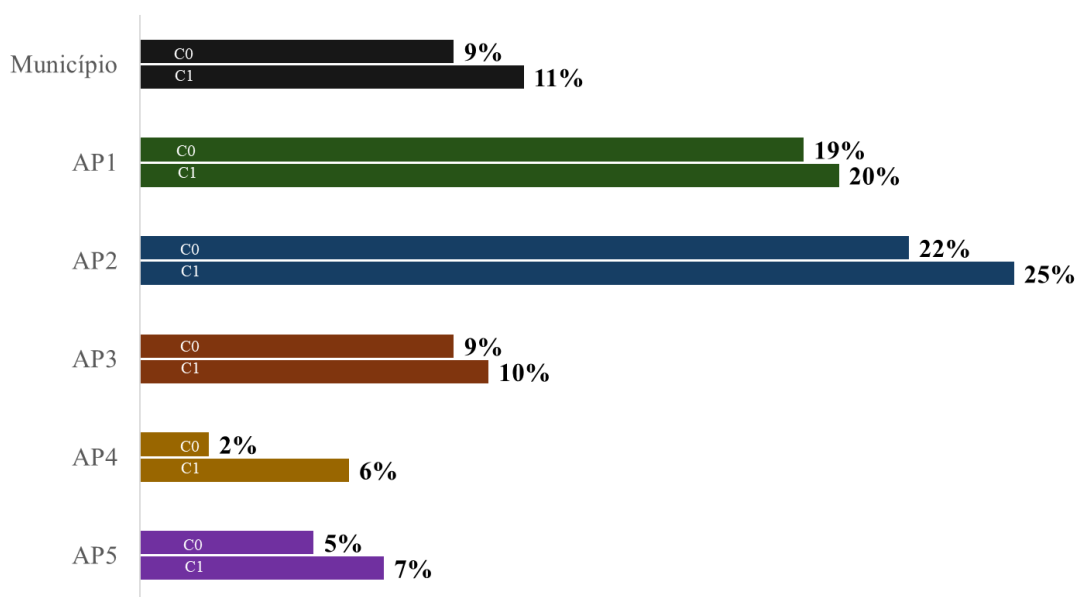


Figura 19. Deslocamentos persistentes por região (C0 e C1).

Em relação as viagens adaptáveis, o município do Rio teve um aumento de 12 pontos percentuais, chegando a 43% de adaptabilidade. A AP4 que possui os piores índices do C0, agora conta com o maior aumento de viagens adaptáveis chegando a 33% (+23%). A AP3 chegou ao número de 51% (+9%) impulsionada pela melhoria das condições na sua região e para os deslocamentos com destino para APs 4 e 5. A AP5 teve um aumento de 7%, devido sobretudo ao aumento do número de estações de TE em sua área.

A AP2 obteve um aumento de 9%, chegando a 46%. Como o sistema BRT não chega à região, essa melhoria demonstra um padrão de deslocamento comum de integração do metrô com o serviço de ônibus regular ou vans para chegar a lugares mais distantes a partir de estações de metrô que integram com o BRT. Ao considerar a adaptabilidade, o passageiro trocava esse modo para o sistema BRT para finalizar a sua viagem. A AP1 teve um aumento de 4%, também impulsionado pela melhoria das condições de deslocamento de viagens para as APs 3, 4 e 5. O comparativo dos níveis de

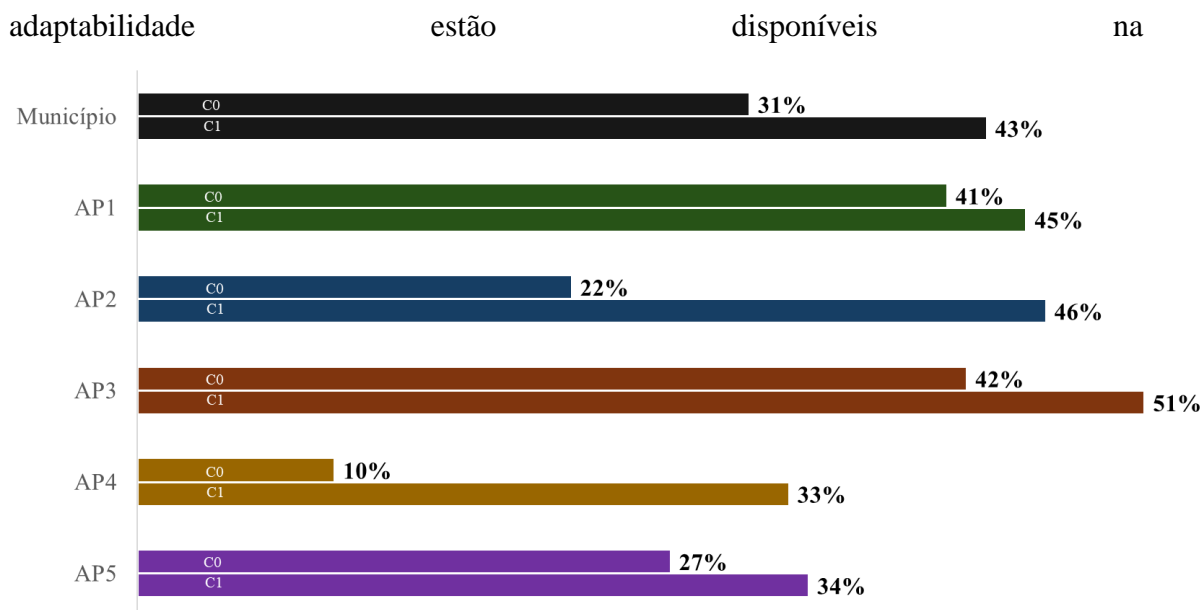


Figura 20. Os bons números de adaptabilidade indicam a sua importante abrangência (principalmente na AP4) e reforçam a baixa adesão ao sistema BRT já explicitada no baixo aumento dos níveis de persistência.

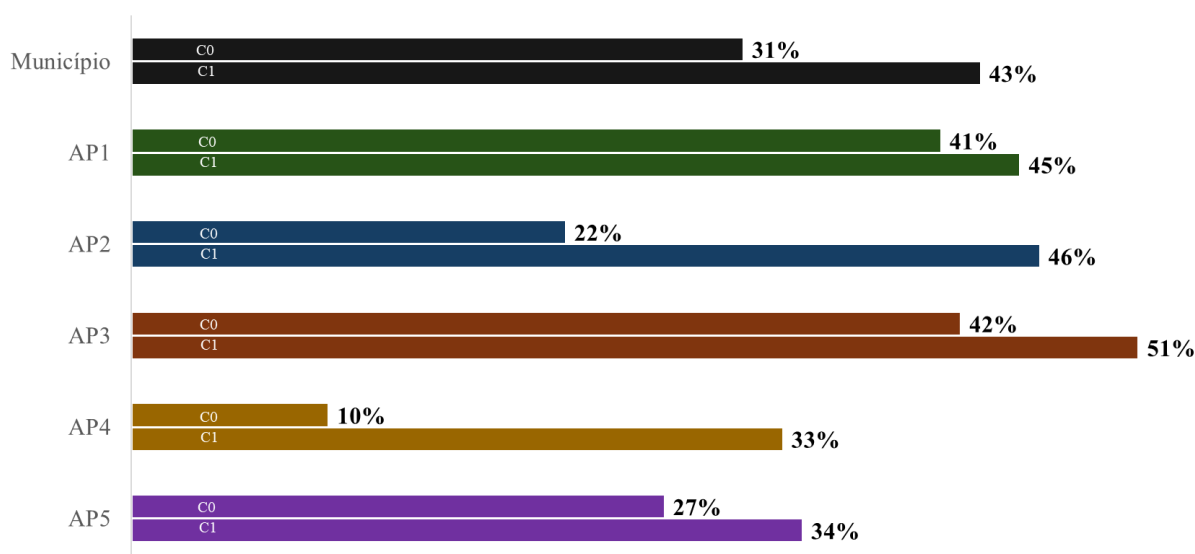


Figura 20. Deslocamentos adaptáveis por região (C0 e C1).

Para a análise estatística dos deslocamentos adaptáveis e transformáveis, o valor mínimo que já era próximo de zero se manteve para todas as APs. Já para o 1º quartil, houve redução em todas as regiões em especial a AP4 que saiu de 4,26 para 2,49, mais próximo do limite para ser considerável adaptável. Essa queda mostra o impacto da inserção do BRT para os deslocamentos com origem nessa área. As outras APs que já

possuíam números menores que 2,00 no C0 tiveram leve queda no C1 conforme Figura 21.

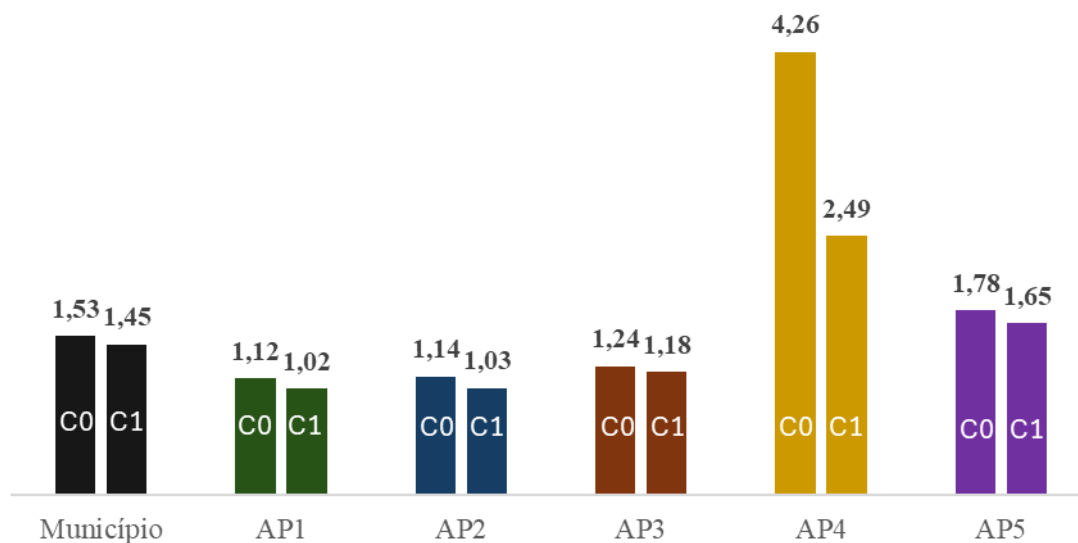


Figura 21. 1º quartil por região (C0 e C1).

Em relação ao 2º quartil ou mediana, a única AP a se manter abaixo do limite de adaptabilidade é a 1 com 1,94. As APs 2 e 3 ficaram ligeiramente acima de 2,00 com 2,06 e 2,11, mas com índices menores no C1 que no C0. A AP4 saiu de 8,78 para 5,13, se mantendo como a região com a maior taxa de melhoria. As outras regiões tiveram leve queda nos seus números como explicitado na Figura 22.

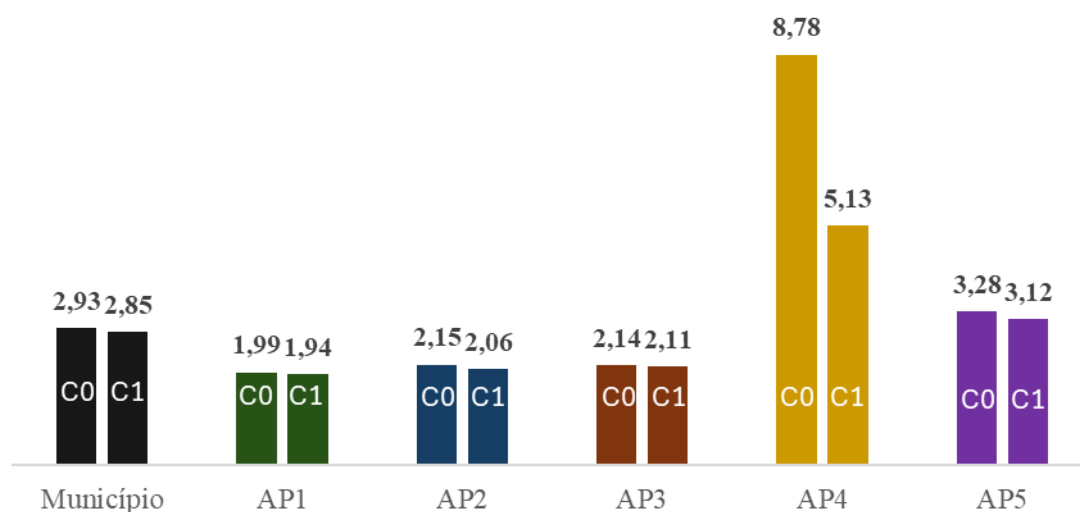


Figura 22. 2º quartil por região (C0 e C1).

Para o 3º quartil, todas as APs ultrapassam o limite para adaptabilidade, com o município caindo de 6,28 no C0 para 5,98 no C1. A AP4 se mantém com o maior valor,

mas também a maior queda de C0 para C1, de 12,84 para 7,23. As outras APs permanecem na tendência de ligeira queda segundo Figura 23

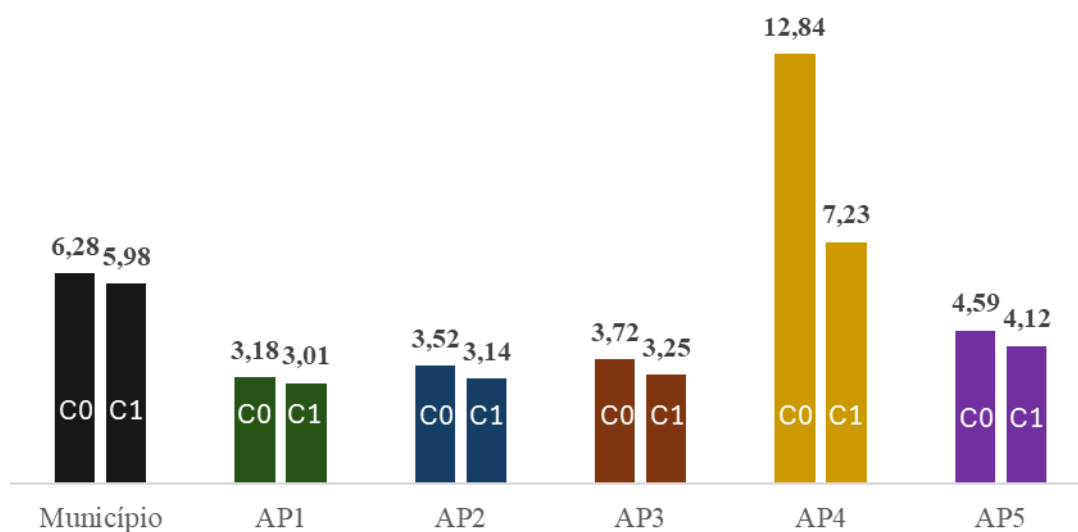


Figura 23. 3º quartil por região (C0 e C1).

Em relação ao valor máximo, houve queda abrupta para todas as regiões com a inserção do BRT de acordo com a Figura 24. A AP5 que chegava a valores próximos a 50 (49,88), sendo o maior entre as regiões, caiu para 26,48. A AP1 passou a ter o menor índice com 18,45. A queda do valor máximo significa um menor consumo energético nos deslocamentos, pois para as viagens transformáveis seria necessário a utilização de um modo de TCF visto as longas distâncias a serem vencidas. Esse ganho é importante para o contexto de escassez de combustível fóssil, pois com a eletrificação do BRT a dependência dessa fonte de energia não renovável seria menor.

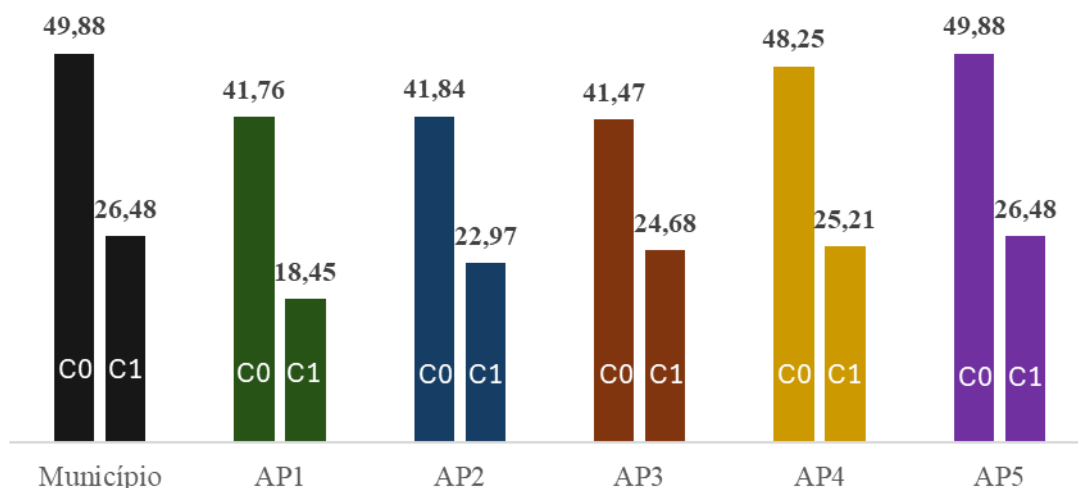


Figura 24. Valor máximo por região (C0 e C1).

O desvio padrão diminuiu para todas as regiões de acordo com a Figura 25. O município e a AP4 tiveram as maiores quedas em número absoluto, saindo de 5,45 e 5,14 para 3,35 e 3,04, respectivamente. Os números das outras APs podem ser observados na Figura 25. Em termos práticos, a diminuição do desvio padrão significa a redução de desigualdades nos deslocamentos do município e das APs.

Por fim, pode-se quantificar os deslocamentos resilientes, representados pela soma dos persistentes e adaptáveis na Figura 26. As APs 1, 2 e 3 que para o C0 eram classificadas como nível de resiliência médio, no C1 passaram para o nível alto com 65%, 71% e 61%, respectivamente. O município e a AP5 saíram do baixo para o médio com 54% e 41% em ordem. Por último, a AP4 passou de muito baixo para baixo com 41%. Mesmo estando com a menor porcentagem dentre todas as regiões, a AP4 teve a maior melhoria com aumento de 27 pontos percentuais em resiliência devido a inserção do BRT. O comparativo da classificação dos deslocamentos para C0 e C1 pode ser verificado no Apêndice B.

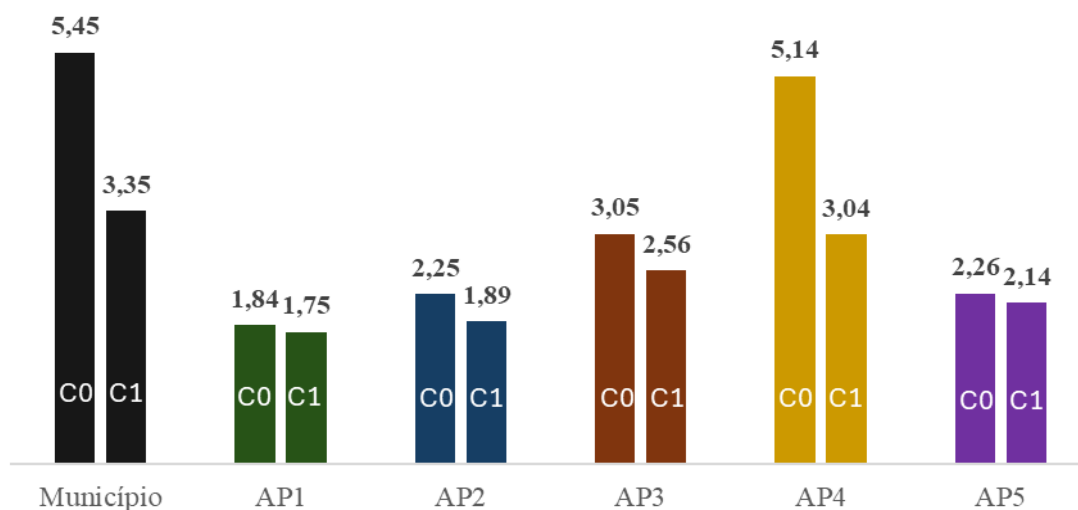


Figura 25. Desvio padrão por região (C0 e C1).

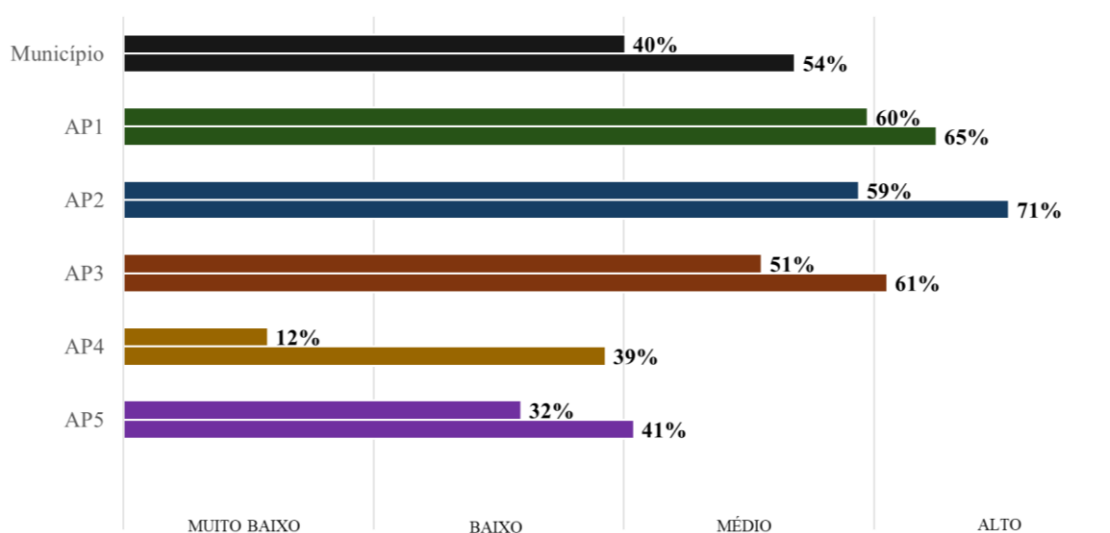


Figura 26. Nível de resiliência por região (C0 e C1).

A partir dos resultados do C0, foi possível entender o impacto do contexto adverso em discussão e as diferenças entre o município e suas APs no que diz respeito as condições de deslocamento relacionadas a infraestrutura existente. Para o C1, a inserção do BRT ao sistema elétrico revelou a baixa aderência do sistema BRT em detrimento de sua boa abrangência por meio da análise dos novos níveis de persistência e adaptabilidade. Vale destacar que este trabalho não avalia as subjetividades relacionadas a mudança modal no caso de viagens adaptáveis e é sabido que a qualidade do serviço ofertado influencia na escolha do passageiro.

Para mais, o incremento do sistema de TE diminuiu as desigualdades entre os deslocamentos e também o consumo energético dos classificados como transformáveis,

facilitando ações direcionadas às suas fragilidades por conta das longas distâncias a serem percorridas em um contexto de escassez de combustível fóssil. Dessa forma, os resultados confirmam que a inserção do BRT ao sistema de TE promove o aumento dos níveis de sustentabilidade e seria de grande importância para o momento de transição energética atual.

Entretanto, é possível observar que a eletrificação de todo o sistema de média/alta capacidade do município no C1 seria capaz de resguardar apenas 54% de seus deslocamentos, o que aponta a necessidade de dois direcionamentos: o aumento de sua rede de trens, metrô, VLTs e BRTs ou ainda a transição energética de seu sistema de baixa/média capacidade (ônibus regulares e vans). Com as duas medidas sendo adotadas, as potencialidades dos diferentes modos seriam somatizadas em termos de atendimento de demanda e a rede de transporte seria mais resiliente.

Em resumo, a metodologia mostrou-se como um forte aliado para a criação de um diagnóstico para a compreensão dos níveis de resiliência energética, exemplificado com a aplicação no sistema de transporte público do município do Rio de Janeiro. Além disso, foi possível verificar o impacto de uma possibilidade de política pública na melhoria da mobilidade local com a inserção do BRT ao sistema elétrico. Essa ferramenta então pode ser utilizada no processo de tomada de decisão por parte dos planejadores, trazendo uma visão mais quantitativa das vulnerabilidades e potencialidades do sistema de transporte público local. Para mais, essa metodologia pode ser replicada a outras regiões salvo os devidos ajustes de acordo com o sistema a ser estudado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da resiliência aplicado ao contexto urbano auxilia no entendimento das vulnerabilidades das cidades e podem fundamentar planos de mitigação dos impactos gerados pela ação de fatores internos e externos que possam perturbar o seu funcionamento. Aplicado à mobilidade urbana, o tema da resiliência pode balizar a discussão sobre fatores que influenciam o desempenho dos sistemas de transportes e a sua interação com a cidade, possibilitando uma melhoria nas condições de oferta e a manutenção dos níveis de acessibilidade de determinada região.

O tema da escassez de combustíveis fósseis, que orientou esta pesquisa, é de vital importância para o desenvolvimento sustentável, principalmente ao considerar que se trata de uma fonte de energia proveniente de um recurso finito e de alto prejuízo ao meio ambiente. Dessa forma, um sistema de transporte dependente deste tipo de combustível está sujeito a vulnerabilidades relacionadas às suas condições de mercado e abastecimento, além de ser de maior impacto ao meio ambiente que outras fontes. Ignorar essa problemática é ignorar o momento de transição energética que o mundo está passando. Entretanto, a discussão do tema da transição energética deve levar em consideração as dificuldades enfrentadas pelo sistema de transporte no que diz respeito ao seu financiamento e às particularidades de operação de cada município.

Outro ponto discutido nesta pesquisa foi o do uso de dados aplicado ao planejamento de transportes. Com os avanços da tecnologia, muitas são as formas de registrar dados importantes para o setor. Nesse contexto, o SBE mostra-se como um aliado na gestão da operação e no macro e microplanejamento do sistema. A partir do SBE é possível elaborar matrizes OD com a utilização de cartões inteligentes, ferramenta utilizada nesta pesquisa.

Com a união dos temas da resiliência e do uso de dados aplicado ao planejamento de transportes, este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para análise da resiliência do transporte público de uma região, possibilitando ainda o entendimento do impacto de melhorias de sua infraestrutura na manutenção dos deslocamentos.

Essa metodologia teve como vantagem em relação ao modo tradicional de levantamento de dados o tamanho de sua amostra, tendo pelo menos 99% de grau de confiança e 1% de margem de erro para todas as APs. Entretanto, alguns pontos sensíveis merecem a atenção. Os pontos de origem e destino registrados na base tem como referência o acesso e saída do passageiro do sistema de transporte público. Dessa forma, por exemplo, uma pessoa indo de ônibus de casa para o trabalho teria o registro das

coordenadas geográficas do ponto de ônibus próximo a sua casa e do seu trabalho e não necessariamente de sua origem e destino absolutos. Outro ponto importante é a interferência de deslocamentos não registrados no cartão de pagamento da tarifa, causando inconsistências no processamento dos dados. Vale destacar que os resultados não contemplam as subjetividades relacionadas à possibilidade do passageiro em pagar a nova tarifa, de limitações em realizar o trecho de caminhada proposto e de restrições ao novo modo sugerido para as viagens adaptáveis. Todavia, pelo tamanho da amostra, essas fragilidades não comprometem a eficiência da metodologia.

Para a validação da metodologia, foi realizado um estudo de caso do município do Rio de Janeiro em dois cenários. O cenário 0 consistiu no diagnóstico do local considerando a infraestrutura do sistema elétrico existente (metrô, trem e VLT) e o cenário 1, como possibilidade de política pública, foi proposto a eletrificação dos corredores de BRT Transcarioca, Transoeste e Transolímpica.

Em relação aos resultados do cenário 0, o nível de resiliência do transporte público do município do Rio foi classificado como baixo com 40% das viagens resilientes (9% persistentes + 31% adaptáveis). Quando analisado por região, foi percebido uma discrepância entre os níveis com a AP1 classificada em médio no limite (60,1%) para ser considerada alta com 60% (19% + 41%), AP2 classificada em médio com 59% (22% + 37%), AP3 classificada em médio com 51% (9% + 42%), AP4 classificada em muito baixo com 12% (2% + 10%) e a AP5 classificada em baixo com 32% (5% + 27%). Essas diferenças são reflexo da distribuição desigual das estações de TE com foco nas APs 1, 2 e 3, apenas 1 estação na AP4 e poucas estações na AP5 em relação a sua área territorial. Ainda ao observar os números, é possível perceber que a AP2 foi a área com a maior parcela de deslocamentos persistentes, indicando uma preferência pelo uso do metrô em deslocamentos com origem nesta região. Para mais, as APs 1 e 3 foram as áreas com o maior índice de adaptabilidade com 41% e 42%, mostrando boa abrangência das estações de TE nessas regiões.

Com a inserção do BRT, todos os índices de resiliência do município e de suas regiões tiveram uma melhora. Para o Rio, as viagens persistentes tiveram um aumento de 2 pontos percentuais chegando a 11% e somado ao novo índice de adaptabilidade, chegou à marca de 54% de resiliência (+14% em relação ao cenário 0), sendo classificada como médio. A AP1 chegou a 20% de persistência e 45% de adaptabilidade, resultando em 65% de resiliência (+5%), chegando ao nível alto. A AP2 elevou seu índice de persistência a 25% e 46% de adaptabilidade, chegando a 71% de resiliência (+12%, nível alto). A AP3

aumentou para 10% e 51% respectivamente, atingindo um novo patamar de resiliência de 61% (+10%, nível alto). A AP4 que tinha o pior resultado no C0, apresentou os maiores aumentos no índice chegando a 6% de persistência e 33% de adaptabilidade, ou seja, 39% de resiliência (+27%, nível baixo). Já a AP5, teve um aumento para 7% de persistência e 34% de adaptabilidade, resultando em 41% de resiliência (+9%, nível médio).

Por meio dos resultados desta pesquisa foi possível criar um diagnóstico do Rio de Janeiro em relação a dependência de seu transporte público no uso de combustíveis fósseis. O município mostrou-se heterogêneo em relação aos seus índices evidenciando as diferenças regionais de seu território. Esses dados podem servir para embasar políticas públicas de mobilidade em relação a ampliação do sistema de TE, priorização de serviços de TCF em caso de racionamento no abastecimento de combustíveis fósseis e ainda, auxiliar nas estratégias de transição energética de modos de TCF. Além disso, a possibilidade de atestar sugestões de políticas públicas pode auxiliar no processo de tomada de decisão de maneira a entender se o investimento em infraestrutura traria retorno viável a manutenção dos deslocamentos.

Por fim, essa metodologia pode ser replicada em outros municípios desde que haja adaptação às suas particularidades principalmente nos arranjos de transações registradas nos cartões que são influenciadas por questões operacionais e da matriz de integração dos diferentes modos disponíveis. Dessa forma, o procedimento elaborado para este trabalho pode servir como um aliado ao planejamento de transportes nas questões sensíveis abordadas e mostra mais uma utilização relevante da base de dados de bilhetagem eletrônica. Para mais, a metodologia consegue trazer uma abordagem mais quantitativa da resiliência do sistema de transporte que segundo Leobons *et al* (2019) carece na literatura. e ainda o conhecimento prévio do problema que McDaniels *et al* (2008) destaca a importância em termos de diminuição dos impactos e do tempo de recuperação.

6.1. Sugestão de trabalhos futuro

Como complemento aos pontos abordados nesta pesquisa, sugere-se a expansão da área de estudo para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro visto o grande fluxo de pessoas entre as suas diferentes cidades e o entendimento que um contexto de crise de abastecimento de combustível dificilmente estaria restrito apenas a capital. Dessa forma seria possível entender as disparidades no nível de vulnerabilidade dos municípios e de suas regiões (Capital, Leste e Baixada Fluminense). Além disso, pode-se incluir o

transporte por bicicleta numa tentativa de aumentar os níveis de viagens adaptáveis e com isso também a resiliência local.

Para dar continuidade aos resultados encontrados, recomenda-se o estudo para elencar que serviços e linhas de modos de TCF do município do Rio deveriam ser priorizados ou criados frente a uma possível escassez de abastecimento de combustíveis fósseis considerando o aumento do acesso aos modos de TE, a demanda de passageiros, atendimento a pontos de interesse e outros critérios relevantes semelhante ao estudo realizado em Azolin e Silva (2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHERN, J. “From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world”. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.

ALSGER, A.; TAVASSOLI, A.; MESBAH, M. *et al.* “Public transport trip purpose inference using smart card fare data”. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 87, p. 123–137, 2018.

AZOLIN, L. G.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; PINTO, N. “Incorporating public transport in a methodology for assessing resilience in urban Mobility”. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 85, 2020.

BAGCHI, M.; WHITE, P. R. “The potential of public transport smart card data”. **Transport Policy**, v. 12, n. 5, p. 464–474, 2005.

BATTY, M., AXHAUSEN, K. W., GIANNOTTI, F. *et al.* Smart cities of the future. **The European Physical Journal Special Topics**, 214(1), 481-518., 2012.

BP. “BP Energy Outlook 2018”. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>>. Acesso em março de 2023.

BRUNEAU, M.; CHANG, S. E.; EGUCHI, R. T. *et al.* “A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities”. **Earthquake Spectra**, v. 19, n. 4, p. 733–752, 2003.

CAMPISI, T.; BASBAS, S.; SKOUFAS, A. *et al.* “The impact of covid-19 pandemic on the resilience of sustainable mobility in Sicily”. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 21, p. 1–25, 2020.

CAMPOS, V. B. G. “Planejamento de transportes conceitos e modelos”. ed. 1 **Interciência**, 2013.

CARIOLET, J. M.; COLOMBERT, M.; VUILLET, M. *et al.* “Assessing the resilience of urban areas to traffic-related air pollution: Application in Greater Paris”. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 588–596, 2018.

CERASOLI, M.; AMATO, C.; RAVAGNAN, C. *et al.* “An antifragile strategy for Rome post-Covid Mobility”. **Transport Research Procedia**, v. 60, p. 338-345, 2022.

CERVERO, R.; SARMIENTO, O. L.; JACOBY, E. *et al.* “Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá”. **International Journal of Sustainable Transportation**, 3(4), pp. 203-226. doi:10.1080/15568310802178314. 2009.

COLMENERO-FONSECA, F.; FONCE-SEGURA, C. D.; GUZMÁN-RAMÍREZ, A. *et al.* “Sustainable public transport service adapted for people with disabilities and reduced mobility in the municipality of León, Guanajuato, Mexico”. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 13, 2021.

CÔRREA, M. I. S.; SOUZA, A. C. R.; MARÇAL, M. C. C. *et al.* Os sistemas de bilhetagem eletrônica e suas múltiplas dimensões: um estudo sobre o SBE da região metropolitana do Recife. **Navus: Revista Tecnologia e Gestão**. V.5, p.60-73, 2015.

DA SILVA, M. F.; PEREIRA, L. A. F.; BORGES, C. F. *et al.* “Integração dos sistemas do transporte público intermunicipal do Rio Grande do Norte: análise da declaração de demanda”. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**. 2023.

DA SILVA, W. H. N. Sistema de bilhetagem eletrônica: tendências no modal de transporte coletivo. Trabalho de conclusão de curso, **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2017.

DATA RIO. “População residente por idade e por grupos de idade segundo as áreas de planejamento, regiões administrativas e bairros em 2000/2010”. Disponível em:< <https://www.data.rio/documents/e68e54eaa6bb484dbb40828acf2b3e7e/about>>. Acesso em abril de 2024.

DIAS, G.; ARSENIO, E.; RIBEIRO, P. “The role of shared e-scooter systems in urban sustainability and resilience during the covid-19 mobility restrictions”. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 13, 2021.

DUY, P. N.; CHAPMAN, L.; TIGHT, M. “Resilient transport systems to reduce urban vulnerability to floods in emerging-coastal cities: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam”. **Travel Behaviour and Society**, v. 15, n. July 2017, p. 28–43, 2019.

EGU, O.; BONNEL, P. “How comparable are origin-destination matrices estimated from automatic fare collection, origin-destination surveys and household travel survey? an empirical investigation in lyon”. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 138, p. 267–282, 2020.

FARREL, J. “Smartcards become na international technology”. In: **TRON Project International Symposium**, Tóquio – Japão: IEEE Computer Society, 1996.

FARZIN, J. M. Constructing an Automated Bus Origin–Destination Matrix Using Farecard and Global Positioning System Data in São Paulo, Brazil. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington, n. 2072, p. 30-37, 2008.

FERNANDES, V. A.; ROTHFUSS, R.; HOCHSCHILD, V. *et al.* “Urban resilience in the face of fossil fuel dependency: the case of Rio de Janeiro’s urban Mobility”. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1–19, 2019.

FERNANDES, V. A.; ROTHFUSS, R.; HOCHSCHILD, V. *et al.* Resiliência da mobilidade urbana: uma proposta conceitual e de sistematização. **Transportes**, v. 25, n. 2, p. 1–15, 2017.

FERRANTI, E.; OBERLING, D.; QUINN, A. “Urban transport resilience to current weather and future climate: An interdisciplinary perspective from Rio de Janeiro”. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning**, 2022.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. 2ª edição. São Carlos, SP: RiMa, 2004.

FIOR, M.; GALUZZI, P.; VITILLO, P. “New Milan metro-line M4. From infrastructural Project to design scenario enabling urban resilience”. **Transportation Research Procedia**, v. 60, p. 306-313, 2022.

FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B. *et al.* “Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability”. **Ecology & Society**, v. 15, n. 4, 2010.

GAITANIDOU, E.; TSAMI, M.; BEKIARIS, E. “A review of resilience management application tools in the transport sector”. **Transportation Research Procedia**, v. 24, p. 235–240, 2017.

GUERRA, A. L.; BARBOSA, H. M.; OLIVEIRA, L. K. Estimativa de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica: proposta metodológica. **Revista Transportes**. V. 22, n. 3, p. 26-38, 2014.

HARVEY, D. “The Right to the City”. **New Left Review**, 53, 23-40. 2008.

HEINBERG, R. “The party's over: oil, war and the fate of industrial societies”. **Clairview books**. 2003

HENRY, E.; FURNO, A.; FAOUZI, N. E. *et al.* “Locating park-and-ride facilities for resilient on-demand urban Mobility”. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 158, 2022.

HOLLING, C. S. “Resilience and Stability of Ecological Systems”. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1–23, 1973.

HOLLING, C.S. “Engineering Resilience versus Ecological Resilience”. In: **Schulze, P.E.**, Ed., *Engineering within Ecological Constraints*, National Academy Press, Washington DC, 31-43. 1996.

IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>>. Acesso em abril de 2023.

IPCC. “IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2014” – Synthesis Report. **Intergovernmental panel on climate change**, 2014

ITDP. Índice de Caminhabilidade. Versão 2.0. Disponível em: <[https://www.solucoesparacidades.com.br/blog/indice-de-caminhabilidade-versao-2-0-ferramenta/#:~:text=O%20C3%8Dndice%20de%20Caminhabilidade%20\(iCam,dos%20resultados%20obtidos%20na%20avalia%C3%A7%C3%A3o.>](https://www.solucoesparacidades.com.br/blog/indice-de-caminhabilidade-versao-2-0-ferramenta/#:~:text=O%20C3%8Dndice%20de%20Caminhabilidade%20(iCam,dos%20resultados%20obtidos%20na%20avalia%C3%A7%C3%A3o.>)>. Acesso em abril de 2023.

JABAREEN, Y. “Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk”. **Cities**, v. 31, p. 220–229, 2013.

JIN, J. G.; TANG, L. C.; SUN, L. *et al.* “Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services”. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 63, p. 17-30. 2014.

KRUMDIECK, S.; PAGE, S. DANTAS, A. “Urban form and long-term fuel supply decline: A method to investigate the peak oil risks to essential activities”. **Transportation Research, Part A**, n. 44, p. 306-322. 2010.

LEOBONS, C. M.; V. B. G. CAMPOS E R. A. M. BANDEIRA. “Assessing Urban Transportation Systems Resilience: A Proposal of Indicators”. **Transportation Research Procedia**, v. 37, p. 322-329, 2019.

LEUNG, A.; BURKE, M.; PERL, A. *et al.* “The peak oil and oil vulnerability discourse in urban transport policy: A comparative discourse analysis of Hong Kong and Brisbane”. **Transport Policy**, v. 65, n. March 2017, p. 5–18, 2018.

LUBECK, R. M.; Wittman, M. L.; Battistella, L. F. *et al.* “Inovação em serviços de transporte público”. **Organizações em Contexto**. v. 8, n. 15, 2012.

LUBECK, R. M; Junior-Ladeira, W.; Costa, J. C. “Gestão da informação no setor de transporte público: uma análise de conteúdo no caso da bilhetagem eletrônica”. In: **XI Semead – Seminários em Administração FEA – USP**, 2008.

MARTINS, M. C. D. M.; RODRIGUES DA SILVA, A. N.; PINTO, N. “An indicator-based methodology for assessing resilience in urban Mobility”. **Transportation Research Part D**, v. 77, p. 352–363, 2019.

MCDANIELS, T.; CHANG, S.; COLE, D. *et al.* “Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation”. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 2, p. 310–318, 2008.

MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. “Defining urban resilience: A review”. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, p. 38–49, 2016.

MOBIRIO. MobiRIO BRT. Disponível em < <https://mobi-rio.rio.br/>>. Acesso em 25 de março de 2024.

MUNIZAGA, M.; PALMA, C.; MORA, P. Public Transport OD Matrix Estimation from Smart Card Payment System Data. Proceedings from 12th **World Conference on Transport Research**, Lisboa, 2010.

NTU. “Os grandes números da mobilidade urbana: cenário nacional”. 2023. Disponível em:<<https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7&idSegundoNivel=107>>. Acesso em 05 de março de 2023.

OLIVEIRA, G. T. O; DA SILVA, A. J. O.; NASSI, C. D. Detecção de padrões de mobilidade urbana em dia atípico a partir de sistema de bilhetagem eletrônica: análise das viagens na RMRJ durante o carnaval. **The Journal of Transport Literature**.v.10, p. 20-24, 2016.

OLIVER, M. C.; JESÚS, L. C.; IAN, P. *et al.* “Disaster Risk Resilience in Colima-Villa de Alvarez, Mexico: application of the resilience index to flash flooding events”. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, 2128, 2019.

ORTUZAR, J. D. D.; WILLUMSEN, L. G. “Modelling Transport”. 4. ed. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2011.

PELLETIER, M. P.; MORENCY, C. “Smart card data use in public transit: A literature review”. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 4, p. 557–568, 2011.

PILAV, A. “Before the war, war, after the war: Urban imageries for urban resilience”. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 3, n. 1, p. 23–37, 2012.

PINHEIRO, M. G. O. “Uso de técnicas de data Science no enriquecimento de bases de dados utilizadas no planejamento do transporte público”. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Programa de Pós Graduação em Modelagem Matemática e Computacional. 2023.

POWELL, B. Microsoft Power BI Cookbook: creating business intelligence solutions of analytical data models, reports and dashboards. **Packt Publishing**, 2017.

RENDALL, S.; PAGE, S.; KRUMDIECK, S. “A new measure of oil vulnerability for cities”. In: **1st International e-Conference on Energies**, 2014.

RIO BILHETE ÚNICO. Benefícios. BUI e BUC. Disponível em: <<https://site.riobilheteunico.com.br/>>. Acesso em abril de 2024.

RODRIGUES, J.-P.; Comtois, C.; Slack, B. “The Geography of Transport Systems” (3rd ed.). **New York: Routledge**, 2013.

RODRIGUES DA SILVA, A. N.; G. C. F. COSTA; N. C. M. BRONDINO. “Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities”. **Energy for Sustainable Development**, v. 11, n. 3, p. 44-50, 2007.

SANTOS, T. F. “Procedimento para avaliação da resiliência do sistema de transporte público frente a mudanças econômicas”. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. UFRJ. 2020.

SCHEREINER, S.; MEDRANO, R. M. A.; CARVALHO, W. L. “Desenvolvimento de matriz origem-destino a partir de dados mensais de bilhetagem eletrônica”. In: **Arena ANTP**, 2023.

SCHMÖCKER, J., BELL, M. G. H. & LAM, W. H. K. (2004). Special Issue: Importance of Public Transport. **Journal of Advanced Transportation**, 38(1), 1-4, 2004.

STOPHER, P. R.; GREAVES, S. P. “Household travel surveys: where are we going?” **Transport Res. Part A: Policy Practice**, v. 41, p. 367–381, 2007.

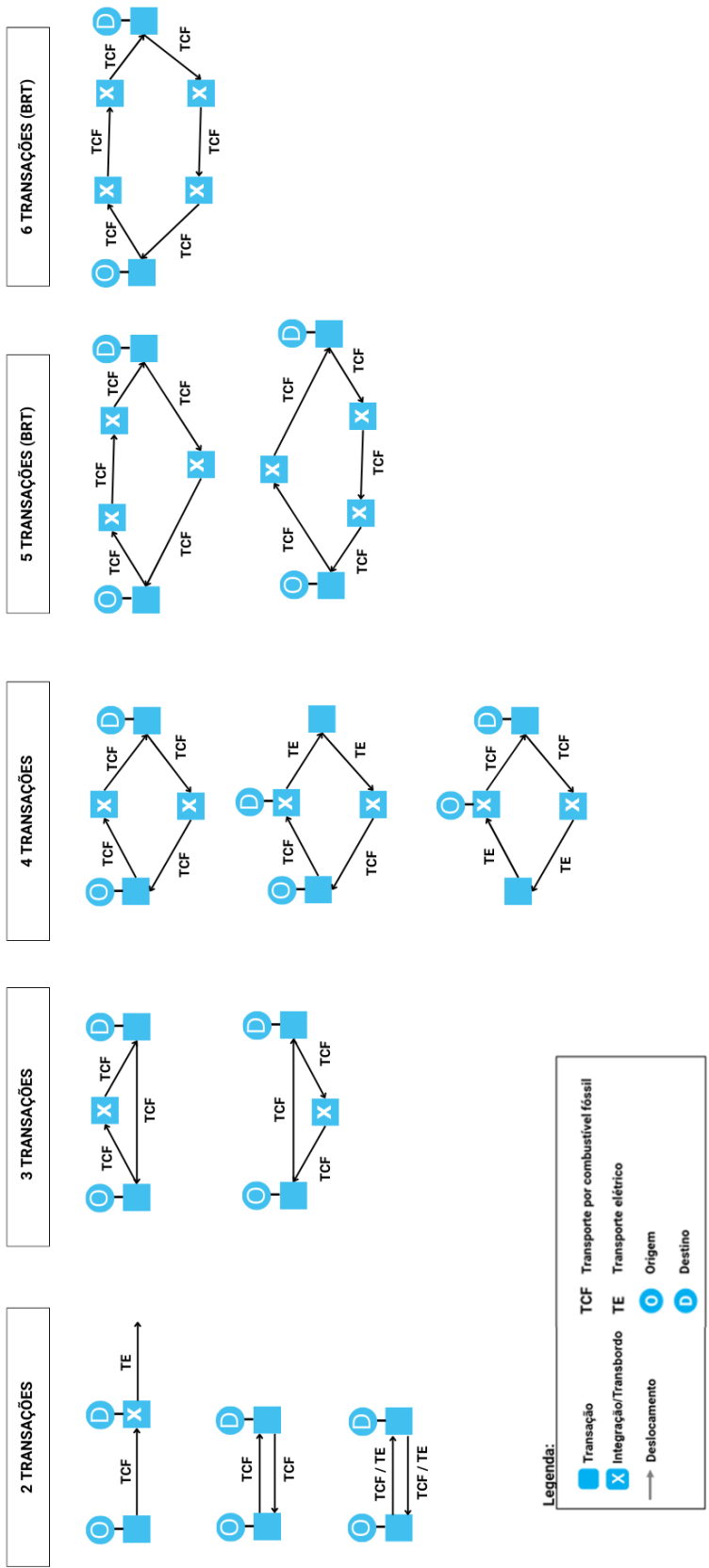
THURSTON, R. H. “On the strength, elasticity, ductility and resilience of materials of machine construction”. **Journal of the Franklin Institute**, v. 97, n. 4, p. 273–288, 1874.

WALKER, B.H, C.S. HOLLING, S.R. CARPENTER; A. “Kinzig. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems”. **Ecology and Society**. v. 9, i. 5. 2004.

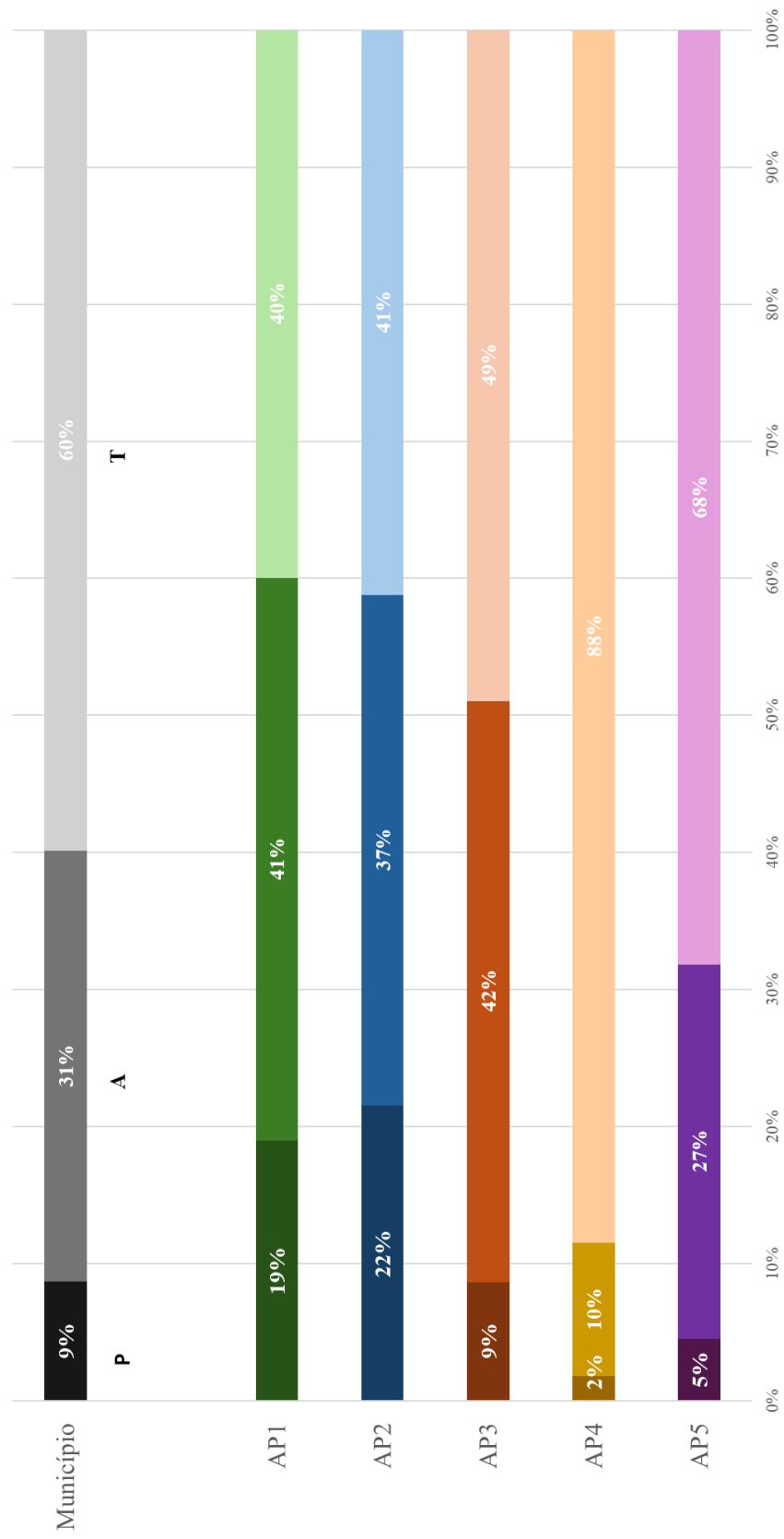
ZHANG, Y.; NG, S. T. “Identification and Quantification of Node Criticality through EWM–TOPSIS: A Study of Hong Kong’s MTR System”. **Urban Rail Transit**, v. 7, n. 3, p. 226–239, 2021.

ZHAO, J. The Planning and Analysis implications of Automated Data Collection System: Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples. **Thesis. Massachusetts Institute of Technology**, Boston, 2004.

APÊNDICE A



APÊNDICE B



APÊNDICE C

