



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTE E GESTÃO
TERRITORIAL - PPGTG

Estefani Bastos Araújo

Identificação de elementos para implantação do *Mobility as a Service* utilizando modelagem baseada em agentes: Estudo de caso em uma cidade brasileira

Florianópolis
2024

Estefani Bastos Araújo

Identificação de elementos para implantação do *Mobility as a Service* utilizando modelagem baseada em agentes: Estudo de caso em uma cidade brasileira

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Florianópolis
2024

Ficha de identificação da obra

Araujo, Estefani Bastos

Identificação de elementos para implantação do Mobility as a Service utilizando modelagem baseada em agentes: : Estudo de caso em uma cidade brasileira Estefani Bastos Araujo ; orientador, Marcos Aurelio Marques Noronha, 2024. 88 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Mobilidade urbana. 3. Mobility as a Service. I. Noronha, Marcos Aurelio Marques . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Estefani Bastos Araújo
Identificação de elementos para implantação do *Mobility as a Service* utilizando modelagem baseada em agentes: Estudo de caso em uma cidade brasileira

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Eduardo Lobo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina/PPGTG

Prof. Danilo Rinaldi Bisconsini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná/ PPGDR

Profa. Lenise Grando Goldner, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina/ PPGTG

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial atribuído pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Marcos Aurelio Marques Noronha, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina/PPGTG

Florianópolis, 2024

Uma pesquisa dedicada às mulheres, a todas as mulheres, às que decidiram ir, às que decidiram ficar, às que não puderam decidir, especialmente às que não puderam escolher, que foram obrigadas pelas circunstâncias. Dedico esta pesquisa às mulheres que julguei, às que me julgaram, também às mulheres que foram abandonadas em algum momento, às que abandonaram algo. Dedico às mulheres que vieram antes e que me permitiram estar aqui hoje como pesquisadora.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes por esta oportunidade. Ao meu orientador, Prof. Dr. Marco Aurelio, pela confiança, disposição e prontidão. Aos professores convidados para a banca, Prof. Eduardo Lobo e Profa. Lenise Grando Goldner por aceitarem participar da conclusão desta etapa e pelos ensinamentos durante as aulas que me fizeram amadurecer e visualizar o mundo de uma outra forma. Também ao Prof. Danilo Rinaldi Bisconsini por aceitar avaliar este estudo.

A minha família, meus pais Edinailza e Gilvan que estiveram presente e incentivaram toda minha carreira acadêmica e que são meus apoios em todos momentos, as minhas irmãs Daiani e Camila, que tenho o privilégio de dividir o título de engenheira e todos benefícios e desafios que essa profissão nos oferece. A minha tia Meire que se fez presente nessa trajetória como amiga e exemplo de força de vontade.

Aos meus parceiros profissionais e sócio Rodrigo pela flexibilidade e compressão ao lidar com a demanda profissional em meio a minha ausência para estudar e me dedicar a pesquisa.

Aos meus amigos que são minha conquista nesse mundo, que foram muitas vezes meu ponto de conforto em meio as dificuldades.

E por fim, a Jeová Deus, que me permitiu chegar aqui com saúde, sabedoria e uma estrutura sólida pra realizar esse trabalho, e me permite viver experiências diárias renovadoras e amadurecer com leveza. E que nunca me abandonou.

RESUMO

Este trabalho aborda o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS) como uma contribuição para a evolução da mobilidade urbana, visando a integração de diversos modos de transporte por meio de uma plataforma única. A avaliação da compatibilidade do MaaS é realizada usando o *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim), uma estrutura de simulação de tráfego baseada em agentes. Com foco no Rio de Janeiro, que possui crescimento demográfico intenso e regiões distintas, a análise de dados para uso em uma simulação por agentes é apresentada como uma alternativa. A pesquisa é fundamentada em dados obtidos do Data.Rio e em planejamentos de mobilidade urbana realizados por órgãos públicos e privados. O estudo destaca a viabilidade da aplicação do MaaS utilizando simulações para avaliar acessibilidade, eficiência e redução de congestionamentos nos bairros Rocinha e Leblon. Os resultados obtidos fornecem informações abrangentes e precisas sobre os modos de transporte oferecidos, motivos das viagens, tempos de deslocamento e quantidade de viagens realizadas, estabelecendo uma base sólida para futuras simulações de tráfego. É ressaltado a importância de integrar conceitos avançados de mobilidade com ferramentas robustas de simulação, oferecendo diretrizes para futuras implementações práticas. Ao destacar como o MaaS pode ser uma alternativa na transformação positiva das condições urbanas, este trabalho contribuiu para o avanço do conhecimento e orienta futuras pesquisas em busca de soluções mais eficazes para os desafios da mobilidade nas áreas urbanas em desenvolvimento.

Palavras-chave: Sistema de transportes, *Mobility as a Service*, Mobilidade urbana.

ABSTRACT

This study explores the concept of Mobility as a Service (MaaS) as a contribution to the evolution of urban mobility, aiming to integrate various modes of transportation through a unified platform. The compatibility assessment of MaaS is conducted using the Multi-Agent Transport Simulation (MATSim), an agent-based traffic simulation framework. With a focus on Rio de Janeiro, characterized by intense demographic growth and distinct regions, data analysis for use in agent-based simulation is presented as an alternative. The research is grounded in data obtained from Data.Rio and urban mobility plans developed by public and private organizations. The study highlights the feasibility of applying MaaS through simulations to assess accessibility, efficiency, and congestion reduction in the Rocinha and Leblon neighborhoods. The obtained results provide comprehensive and accurate information on offered transportation modes, travel purposes, travel times, and the quantity of trips made, establishing a solid foundation for future traffic simulations. The importance of integrating advanced mobility concepts with robust simulation tools is emphasized, offering guidelines for future practical implementations. By showcasing how MaaS can be an alternative for positively transforming urban conditions, this work contributes to advancing knowledge and guides future research in the quest for more effective solutions to the challenges of mobility in developing urban areas.

Keywords: Transportation system, Mobility as a Service, Urban mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região Metropolitana do Rio de Janeiro dividida por zoneamento	24
Figura 2 - Proposta do Plano Agache para nova linha metroviária e ampliação da linha ferroviária existente.....	25
Figura 3 - Proposta do Plano Dioxiadis de executar rodovias principais norte-sul e leste-oeste.....	26
Figura 4 - Proposta do Plano Dioxiadis implantado parcialmente no Rio de Janeiro	26
Figura 5 - Tempos de viagem pendulares versus distâncias de rota dos passageiros, d	29
Figura 6 - Gráfico comparativo de radar para o indicador ambiental (EnI)	30
Figura 7 - Esquema do Conceito <i>Mobility as a Service</i>	32
Figura 8 - Ecossistema MaaS	37
Figura 9 - Esquema de quatro etapas para análise de tráfego	40
Figura 10 - Etapas de uma simulação do MATSim	41
Figura 11 – Modo de transporte e local de embarque escolhido em arquivo plans.xml.....	53
Figura 12 – Rota específica do ônibus em arquivo plans.xml.....	54
Figura 13 – Motivo da viagem e especificação do agente no <i>plans.xml</i>	55
Figura 14 - Esquema simplificado da simulação do <i>Mobility as a Service</i> no simulador MATSim.....	56
Figura 15 - Densidade demográfica 2014 nas RAs da AP.....	58
Figura 16 – Número de viagens realizada no município do Rio de Janeiro por modo de transporte.....	59
Figura 17 - Divisão modal do Município do Rio de Janeiro.....	60
Figura 18 - Motivos de viagens do Rio de Janeiro.....	61
Figura 19 - Viagens diárias realizadas pelos residentes da AP 02.....	62
Figura 20 – Vista aérea do bairro Rocinha – RJ.....	63
Figura 21 - Malha viária com as informações de transporte público disponível na Rocinha.....	64
Figura 22 – Vista aérea do bairro Leblon – RJ.....	65
Figura 23 - Malha viária com as informações de transporte público disponível no Leblon.....	66
Figura 24- Região em estudo da cidade do Rio de Janeiro no Java OpenStreetMap.....	67
Figura 25- Região em estudo da cidade do Rio de Janeiro em XML configurado para MATSim....	68
Figura 26- Empregos gerados por cada região administrativa da AP 02.....	70
Figura 27 - Malha viária com as informações de transporte público da região em estudo.....	71

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Variáveis definidas para o modelo.....	50
---	----

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Dados socioeconômicos da área de estudos.....	59
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRT – *Demand Responsive Transport*
DVRP - *Dynamic Vehicle Routing Problem*
MAAS - *Mobility as a Service*
MATSim - *Multi-Agent Transport Simulation*
BRT - *Bus Rapid Transit*
BRS - *Bus Rapid Service*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JOSM – *Java Open Street Map*
OSM – *Open Street Map*
PEU - Projeto de Estruturação Urbana
PIT – Metrô - Plano Integrado de Transportes – Metrô
PMUS - Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana
PDTU - Plano Diretor de Transporte Urbano
PDUI - Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado
PUB - Plano Urbanístico Básico
VLT - Veículo Leve sobre Trilhos
VRP - *Vehicle Routing Problem*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
1.3	JUSTIFICATIVA	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	HISTÓRICO DA MOBILIDADE URBANA.....	20
2.1.1	Mobilidade urbana no Brasil	21
2.1.2	Mobilidade urbana no Rio de Janeiro/RJ	24
2.2	<i>MOBILITY AS A SERVICE</i> (MaaS)	30
2.2.1	Definição de MaaS	31
2.2.2	Evolução do MaaS	32
2.2.3	Elementos do MaaS	33
2.2.4	Transporte responsivo à demanda (DRT) e o contexto MaaS.....	35
2.2.5	Benefícios e Desafios do MaaS.....	35
2.2.6	Ecosistema MaaS.....	36
2.3	<i>MULTI-AGENT TRANSPORT SIMULATION</i> (MATSim).....	38
2.3.1	MATSim como ferramenta de simulação.....	38
2.3.2	Modelo quatro etapas	39
2.3.3	Estrutura do MATSim	40
2.3.4	Problema de Roteirização Dinâmico dos Veículos (DVRP).....	42
2.4	APLICAÇÃO DO MATSIM EM ESTUDOS DE <i>MOBILITY AS A SERVICE</i> (MAAS) .	44
3	MÉTODO.....	47
3.1	FERRAMENTAS UTILIZADAS	47
3.2	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	49
3.3.1	Infraestrutura viária.....	51
3.3.2	Opções de modos de transportes públicos atuais.....	51
3.3.3	Tempo de viagem	53
3.3.4	Densidade do tráfego urbano.....	54

3.3.5	Configuração e estruturação das variáveis	56
4	APLICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO	58
4.1	ÁREA DE ESTUDO	58
4.1.1	Transporte e malha viária do bairro Rocinha	62
4.1.2	Transporte e malha viária do bairro Leblon.....	64
4.2	ESTRUTURAÇÃO DA MALHA VIÁRIA.....	67
4.3	ESTRUTURAÇÃO DA VARIÁVEIS.....	68
4.4	APLICAÇÃO DO MAAS NA ÁREA DE ESTUDO	72
5	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – Arquivo <i>Network.XML</i>	84
	APÊNDICE B – Arquivo <i>Config.XML</i>	85
	APÊNDICE C – Arquivo <i>Plans.XML</i>	87

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história do Brasil, o modo rodoviário ganhou predominância, especialmente no contexto urbano, desde a década de 1920. No entanto, o impulso significativo para o desenvolvimento do transporte rodoviário ocorreu durante o governo de Juscelino Kubitschek, entre 1956 e 1961 (LOPES, 2013).

Durante seu mandato, Juscelino Kubitschek implantou um programa de desenvolvimento conhecido como "Plano de Metas", que tinha como objetivo promover a industrialização e modernização do país. Uma das principais metas do plano era a construção de rodovias para ligar diferentes regiões do Brasil e facilitar o transporte de bens e pessoas (HUERTAS, 2022).

A chegada da indústria automobilística no Brasil contribuiu com o aumento do número de veículos em circulação, por consequência houve um investimento maciço na construção de rodovias e infraestrutura rodoviária em detrimento de outros modos de transporte (PEREIRA; LESSA, 2011). Essa concentração de investimentos no setor rodoviário acabou relegando outras opções de transporte público coletivo, modos ferroviários e hidroviários, a segundo plano.

A mobilidade urbana brasileira é baseada em uma extensa frota de veículos individuais motorizados, principalmente carros particulares, interagindo em uma infraestrutura compartilhada. De acordo com Papageorgiou *et al.* (2003), ao longo das últimas décadas, o rápido aumento do número de veículos e a crescente demanda por transporte, combinados com uma malha viária com capacidade limitada, têm acarretado em problemas de congestionamentos, poluição do ar, acidentes de trânsito e uma crescente dependência de combustíveis fósseis.

O transporte público é uma peça fundamental na mobilidade urbana sustentável, é uma alternativa aos veículos individuais motorizados, mais eficiente em termos de espaço e custo, levando mais pessoas com menos recursos (BANISTER, 2008). Entretanto, muitas cidades enfrentam desafios na prestação de serviços de transporte público de qualidade. A falta de investimento governamental adequado é uma das principais razões para a baixa qualidade do serviço, o que desencoraja o uso, exceto para as classes sociais mais baixas que tem o transporte público como única opção de mobilidade urbana (MOTTE-BAUMVOL *et al.*, 2016).

A mobilidade está compreendida nas condições fundamentais da vida urbana, o que reforça a necessidade de avaliar a dinâmica de acesso e uso dos sistemas de transporte nas grandes cidades que enfrentam problemas de tráfego e congestionamento (LESSA; LOBO; CARDOSO, 2019).

A fim de enfrentar esses desafios, diversas cidades têm se dedicado a buscar soluções para aprimorar a mobilidade urbana. Essas medidas incluem melhorias no transporte público, bem como a promoção de alternativas sustentáveis, como a implementação de ciclovias e incentivos para caminhadas (BANISTER, 2008). Além disso, os investimentos em tecnologias de mobilidade inteligente, por exemplo, veículos elétricos e sistemas de compartilhamento de carros e bicicletas, têm desempenhado um papel fundamental nesse cenário (BECKER *et al.*, 2020).

Apesar dos esforços mencionados, o tráfego continua fragmentado e ineficiente devido à falta de integração entre as tecnologias de compartilhamento, que operam de forma isolada e competitiva, tornando até mesmo o transporte público vulnerável. Nesse contexto, surge o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS), que busca integrar diversas opções de transporte em uma única plataforma ou aplicativo, proporcionando uma solução completa e personalizada para a mobilidade urbana (BECKER *et al.*, 2020).

O MaaS é um modelo de negócios caracterizado pela oferta de serviços de transportes multimodais, personalizados em uma plataforma única, envolvendo gestão de viagem dinâmica, flexibilidade de pagamento e informação em tempo real (KIM *et al.*, 2021).

No mundo o MaaS está em expansão impulsionado por diversos fatores, como o crescimento da tecnologia móvel, a popularidade dos aplicativos de transporte, a necessidade de soluções de mobilidade mais sustentáveis e a busca por sistemas de transporte mais eficientes e integrados. Alguns países e cidades ao redor do mundo têm adotado e desenvolvido iniciativas de MaaS de forma mais proeminente, especialmente as pioneiras Finlândia e Suécia (SMITH *et al.*, 2018).

No Brasil, o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS) está em estágios iniciais de desenvolvimento. Algumas iniciativas e experimentos vêm sendo realizados em algumas cidades brasileiras, e a popularização da internet móvel e dos aplicativos de transporte tem acelerado esse progresso ao disponibilizar informações em tempo real sobre o transporte de passageiros para o público em geral (RODRIGUES *et al.*, 2021).

Dessa maneira, no cenário nacional, se identifica uma lacuna relacionada à aplicação de métodos em regiões ainda não foram contempladas por propostas de intervenção eficaz em mobilidade urbana. Esse cenário é particularmente evidente em áreas com alta densidade demográfica, distante dos centros urbanos e com oferta limitada de modos de transporte, mas que

apresentam potencial para serem contempladas por conceitos que incorporam tecnologias emergentes.

Deste modo, o foco deste trabalho é direcionado à análise de requisitos e informações para aplicação de um método de simulação computacional de tráfego que faz uso da estrutura de código aberto *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim). A aplicação desse método ocorre no contexto do conceito de *Mobility as a Service* (MaaS), visando regiões específicas da cidade do Rio de Janeiro. Este estudo se concentra em identificar características da mobilidade urbana passíveis de melhorias por meio dessa implementação, com o propósito de reduzir o congestionamento, aprimorar a eficiência das viagens e garantir acessibilidade aos viajantes

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Identificar requisitos para implementação do conceito *Mobility as a Service* (MaaS) por meio da aplicação de um método de simulação computacional baseado em agentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Abordar os conceitos de *Mobility as a Service* (MaaS) e mobilidade urbana, explorando suas relações;
- b) Analisar a aderência e aplicabilidade da estrutura de arquivo aberto de simulação de tráfego *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim) ao MaaS;
- c) Propor um método para implementação do MaaS mediado pelo MATSim;
- d) Apresentar diretrizes sobre a execução do método para avaliar a acessibilidade, eficiência e redução de congestionamento em uma cidade brasileira.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os dados fornecidos para a aplicação do método se referem ao ano de 2016 e, embora ainda sejam considerados válidos, é importante reconhecer que, ao longo do tempo, esses dados podem se tornar obsoletos. A dinâmica do ambiente e os parâmetros do sistema podem sofrer alterações, o que representa uma barreira para a pesquisa.

A eficácia do método em lidar com determinadas variáveis não implica automaticamente uma abordagem abrangente de todas as variáveis relevantes. Restringindo a aplicabilidade do método a uma gama mais ampla de cenários, uma vez que há o risco de não abordar aspectos cruciais que podem influenciar significativamente os resultados. Dessa forma, a pesquisa pode enfrentar uma barreira ao não conseguir capturar integralmente a complexidade do fenômeno estudado, evidenciando a necessidade de considerar cuidadosamente quais variáveis são contempladas e quais podem ser deixadas de lado pelo método proposto

A aplicabilidade do método na cidade do Rio de Janeiro, onde há disponibilidade das fontes de dados necessárias, pode ser considerada uma vantagem em relação a outras cidades. Essa delimitação destaca a necessidade de considerar cuidadosamente a aplicação do método para contextos diversos, ressaltando que sua eficácia pode variar significativamente dependendo das características de cada localidade.

1.3 JUSTIFICATIVA

A saturação de veículos nas vias urbanas é um dos principais desafios para a gestão das cidades, sobretudo por contribuir com a desigualdade entre as classes sociais e dessa forma limitar o acesso das pessoas mais pobres às oportunidades, visto que o transporte público coletivo recebe limitado investimento. Assim, várias medidas de mitigação estão sendo implementadas ao longo dos últimos anos com finalidade de reduzir a frota de carros em circulação (RAVISH; SWAMY, 2021).

Entre as medidas adotadas que incentivam a evolução na forma de ofertar a mobilidade estão as tendências associadas à tecnologia de informação e comunicação (TICs), globalização, digitalização, veículos autônomos e elétricos, e o conceito de cidades inteligentes (LYONS, 2018). Essas inovações são potencializadas por novas gerações sociais adeptas da economia compartilhada, que optam pelo consumo de serviços e experiências à aquisição de bens (MARTÍNEZ-GONZÁLEZ; PARRA-LÓPEZ; BARRIENTOS-BÁEZ, 2021).

De acordo com Lyons (2018) uma cidade inteligente deve ter o propósito de conectar os usuários de forma acessível, eficaz, atraente e sustentável. Em meio às propostas para atingir os objetivos citados o conceito *Mobility as a Service* (MaaS).

A mobilidade urbana no Brasil embora em desenvolvimento lento, apresenta iniciativas tecnológicas em grandes cidades, impulsionadas pela aprovação da Lei Federal 12.587/12 que

instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana obrigatória para municípios com mais de 20 mil habitantes (PROCOPIUCK; SEGOVIA; PROCOPIUCK, 2021).

A cidade do Rio de Janeiro nos últimos anos tem unido esforços para se adaptar a alternativas inteligentes de mobilidade urbana, segundo Guimarães *et al.* (2013), em particular por atrair milhares de visitantes para grandes eventos e à sua população de quase 6 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

Entre os exemplos de aprimoramentos na mobilidade urbana estão o uso de veículos leves sobre trilhos (VLT), o *Bus Rapid Transit* (BRT), os patinetes elétricos, as bicicletas compartilhadas e o transporte sob demanda, integrando-se com os meios existentes, resultando em uma extensa rede de opções de locomoção. A integração tarifária no transporte público coletivo também tem sido um avanço importante (RODRIGUES; BARBOZA; RIBEIRO, 2018).

A disponibilidade de diferentes modos de transporte no Rio de Janeiro representa uma valiosa vantagem para a implementação do MaaS. Além disso, a utilização do método de simulação baseado em agentes, por meio da plataforma *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim), proporciona uma série de benefícios como escalabilidade, flexibilidade, possibilidade da integração de diferentes modos de transporte, abordagem realista que possibilita simular o comportamento de cada agente. Sendo uma estrutura de arquivo aberto, permite participação ativa de pesquisadores e desenvolvedores.

Com isso, o Rio de Janeiro pode se beneficiar de uma solução inovadora que promove uma experiência de transporte mais acessível, sustentável e adaptada às demandas em regiões da cidade, além do fortalecimento do meio técnico e acadêmico. Dessa forma, uma avaliação sistemática da aplicação do *Mobility as a Service* (MaaS) é interessante. Essa análise compreende a avaliação cuidadosa da disponibilidade e confiabilidade das informações necessárias para compreender o impacto do MaaS na dinâmica do transporte na área urbana específica, e verificar se essas informações são adequadas para utilização no simulador de tráfego MATSim.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está organizado em quatro partes distintas. Na primeira seção, é realizado um breve relato sobre a evolução da mobilidade urbana, com um foco direcionado para o contexto brasileiro, seguido por uma análise mais específica da cidade do Rio de Janeiro, fundamentada em uma revisão da literatura e apresentada de forma histórica.

A segunda parte do capítulo explora o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS), abrangendo sua evolução, componentes e diferenciais. Com atenção especial ao transporte sob demanda, um dos modos de transporte oferecidos pelo MaaS.

A terceira seção é dedicada à apresentação do simulador de tráfego *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim). Além disso, é destacado ferramentas úteis e indispensáveis para atender às demandas do MaaS, como o Problema de Roteamento Dinâmico de Veículos (DVRP), essa abordagem é utilizada para otimizar a alocação de veículos e rotas de acordo com a demanda dinâmica e as condições de tráfego em tempo real.

Por fim, a última seção do capítulo aborda estudos específicos que foram conduzidos com a aplicação do simulador MATSim ao conceito de MaaS.

2.1 HISTÓRICO DA MOBILIDADE URBANA

A mobilidade é um conceito de origem milenar, uma vez que o deslocamento de pessoas e cargas no espaço urbano é uma necessidade inerente à existência das civilizações. Segundo Garrison e Levinson (2014) a forma como a mobilidade urbana é abordada atualmente é resultado de séculos de evolução. Com o crescimento desordenado das cidades durante a Revolução Industrial no século XIX, o tema se consolidou como um campo de estudo e planejamento estruturado.

De acordo com Galindo e Lima Neto (2019), o conceito de mobilidade urbana pode ser entendido como a facilidade de deslocamento daqueles que são transportados ou se transportam e pelas características da cidade ou local, que permitem que o deslocamento possa acontecer. Nesse sentido, a mobilidade urbana é um tema multidisciplinar, permitindo ser abordada sob diversas perspectivas, entre elas econômica, sociológica, geográfica, política, tecnológica e ambientalista (FONTOURA; CHAVES; RIBEIRO, 2019).

Batty *et al.* (2012) elucidam a evolução da mobilidade urbana, mencionando que nas últimas duas décadas tem crescido exponencialmente como objeto de pesquisa e desenvolvimento em todo o mundo, com o propósito de tornar as cidades mais sustentáveis e acessíveis. Enfrentar os desafios relacionados à infraestrutura existente e à rápida evolução da urbanização tem sido prioridade.

A procura por conforto e a facilidade de aquisição veicular produz grandes frotas de veículos particulares em circulação, causando os congestionamentos nas vias urbanas. Muitos esforços são aplicados para reverter essa situação, fortalecendo o conceito do transporte público coletivo como solução (DA SILVA; DA SILVA COSTA; MACEDO, 2008).

As propostas não se limitam em soluções para tornar o transporte público eficaz. É necessário envolver o sistema de transportes, complementando os serviços de transporte adaptáveis, infraestruturas modernas, ferramentas de gestão de tráfego, campanhas de sensibilização, esquemas de mobilidade bem coordenados e soluções de sistemas de transporte inteligentes avançados (BEZERRA; DOS SANTOS; DELMONICO, 2020)

O bom desempenho de ações ligadas a mobilidade urbana está associado ao apoio de atores sociais. Os atores sociais são indivíduos, agremiações ou grupos organizados de cidadãos e entidades como associações, sindicatos, movimentos sociais, organizações comunitárias e não governamentais e as instituições de agências governamentais ou estatais, câmara de vereadores, empresas operadoras do sistema de transporte etc (OPPERMANN, 2017).

Em síntese, os principais desafios na implementação da política de transporte urbano são reduzir a necessidade de viagens motorizadas, moderar a circulação de veículos particulares, repensar a malha viária urbana, priorizar o transporte público, melhorar as tarifas de transporte coletivo e proporcionar mobilidade às pessoas com deficiência (FONTOURA; CHAVES; RIBEIRO, 2019).

2.1.1 Mobilidade urbana no Brasil

Embora exista uma definição geral de mobilidade urbana aceita internacionalmente, a definição do conceito depende do contexto. O Brasil, dividido em cinco regiões culturalmente diversas, apresenta variações nas prioridades de mobilidade. Os sistemas de transporte brasileiros são complexos devido a diversas variáveis, incluindo infraestruturas, modos de transporte,

regulamentações, fontes de financiamento, tecnologias, uso da terra e aspectos de comportamento humano (DA SILVA; DA SILVA COSTA; MACEDO, 2008).

A rede urbana brasileira experimentou um rápido processo de industrialização a partir de 1950, com a introdução de tecnologia na agricultura. Isso resultou em uma migração significativa da população rural para as cidades, criando uma concentração populacional nas periferias urbanas devido aos custos mais baixos. Como resultado, os residentes dessas áreas precisaram viajar longas distâncias para acessar serviços e benefícios localizados no centro das cidades (FERNANDES; VALENÇA, 2011).

Ainda, em um contexto mundial, Da Silva, Da Silva Costa e Macedo (2008) ressaltam que a ênfase no transporte rodoviário se estendeu até o final da década de 1970, combinado a esforços limitados em promover outros modos e à constante separação dos conceitos de transporte e planejamento urbano. Assim, o desafio dos planejadores de transportes se tornou avaliar a capacidade da infraestrutura para a demanda de veículos, e a partir dessa informação ofertar mais vias de tráfego e eventualmente restaurar as existentes.

Acompanhando o contexto mundial de mobilidade urbana, o Brasil se limitou a provisão de infraestrutura para o transporte rodoviário “principalmente através da abertura de vias de faixas múltiplas e vias expressas, a priorização do transporte individual em detrimento do transporte coletivo, o desconsiderar os modos não motorizados e a separação completa entre planejamento urbano e transporte” conforme Da Silva, Da Silva Costa e Macedo (2008, p. 3). Esse investimento seletivo resultou na perda de recursos financeiros, na falta de controle social e no descaso com as questões ambientais no planejamento do transporte urbano no Brasil.

A mobilidade urbana é necessária para a vida nas cidades, pois está ligada às práticas sociais urbanas, permitindo o acesso físico ao trabalho, ao estudo, à serviços, à cultura, e que direitos sejam atendidos, como o acesso à saúde gratuita. A partir desse entendimento, o transporte é um direito social constitucional, conforme a Emenda Constitucional nº 90 de 15 de setembro de 2015. Assim, é importante que o Estado atue como um agente responsável por garantir que a mobilidade seja acessível, eficiente e equitativa para todos os cidadãos (BAESSE, 2019).

O Estatuto da Cidade (Lei n. 10.257/2001) e a criação do Ministério das Cidades em 2003 deram destaque ao tema da mobilidade urbana no Brasil. O Estatuto da Cidade estabeleceu a obrigatoriedade de cidades com mais de 500 mil habitantes criarem um Plano Integrado de Transportes, posteriormente alterado para Plano Diretor de Transportes e Mobilidade (PlanMob).

O PlanMob é um instrumento de execução da política urbana que inclui normas, ações estratégicas e projetos voltados para a organização do transporte e circulação do tráfego, com participação pública nas fases de planejamento. O Ministério das Cidades apoia o PlanMob ao oferecer um modelo de referência, o "Caderno de Referência para Elaboração do Plano de Mobilidade Urbana", que pode ser adaptado às características específicas de cada cidade, região metropolitana ou estado (DA SILVA; DA SILVA COSTA; MACEDO, 2008).

Em 2012, a Lei n. 12.587/2012 instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), também conhecida como a Lei da Mobilidade Urbana, que estabelece seus princípios, diretrizes e objetivos de forma clara e objetiva, e enfatiza a importância de integrar políticas que vêm sendo desenvolvidas de forma isolada, mas com grande potencial de resolução dos problemas da área urbana.

Os princípios da PNMU são atingir a acessibilidade universal, segurança no deslocamento das pessoas, igualdade no uso do espaço público, gestão democrática e o controle social do planejamento urbano, além de eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano e circulação urbana, entre outros motivos que se fazem necessários para essa Lei existir (BAESSE, 2019).

A PNMU lista um conjunto de diretrizes que devem ser adicionados no PlanMob, entre eles: o planejamento integrado; integração entre modos e serviços; mitigação de custos ambientais, sociais e econômicos; desenvolvimento científico e tecnológico; energia renovável e redução de poluição; estruturação do território político; e forte incentivo ao uso do transporte público coletivo e transporte não motorizado. Essas orientações mostram o roteiro a seguir para atingir os objetivos da Lei (BEZERRA; DOS SANTOS; DELMONICO, 2020).

A Lei n. 12.587/2012 intensifica o plano de mobilidade urbana e amplia a quantidade de cidades que devem elaborar o planejamento, dessa forma, a obrigatoriedade de criação do Plano de Mobilidade Urbana recai nos municípios com mais de 20 mil habitantes e naqueles que são indispensáveis à elaboração do plano diretor. Além disso, esses planos de mobilidade urbana devem ser integrados ou incorporados ao plano diretor do município, aprimorando assim a abordagem de planejamento urbano e mobilidade (BRASIL, 2012).

2.1.2 Mobilidade urbana no Rio de Janeiro/RJ

A mobilidade urbana é um tema com alto grau de complexidade, inclusive quando se trata de metrópoles, como é o caso da Região Metropolitana Estado do Rio de Janeiro (RMRJ), onde grande parte das ações de políticas de mobilidade urbana são desenvolvidas (Figura 1). Nas últimas duas décadas impulsionado pelo governo federal, o Estado do Rio de Janeiro promoveu a elaboração de três planos metropolitanos ligados à mobilidade urbana na RMJR, sendo eles: o Plano Diretor de Transporte Urbano – PDTU 2003/2005; o Plano Diretor de Transporte Urbano - PDTU 2013/2015 e o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – PDUI 2018/2019 (LUFT, 2020).

Figura 1 - Região Metropolitana do Rio de Janeiro dividida por zoneamento



Fonte: Plano Diretor de Transporte Urbano (2013)

Antecedendo à Constituição Federal promulgada em 1988, a principal incentivadora dos planos citados, foram realizados planejamentos urbanos com objetivo de melhorar o sistema de transportes da região. O Plano Agache finalizado em 1930 foi a primeira proposta de intervenção urbanística elaborada exclusivamente para a cidade do Rio de Janeiro, desvinculando da região, possui um dos primeiros planos de metrô para a cidade. Também foi realizado melhorias no transporte ferroviário já existente (AGACHE, 1930).

Mendes (2012) complementa que embora aprovado e algumas obras tivessem sido realizadas, o resultado concreto não se aproximou do projeto proposto, mas serviu de referência para inúmeras tomadas de decisões e elaborações de novos planejamentos, como a implantação da rede metroviária na década de 70. A Figura 2 mostra o traçado proposto.

Figura 2 - Proposta do Plano Agache para nova linha metroviária e ampliação da linha ferroviária existente



Fonte: Agache (1930)

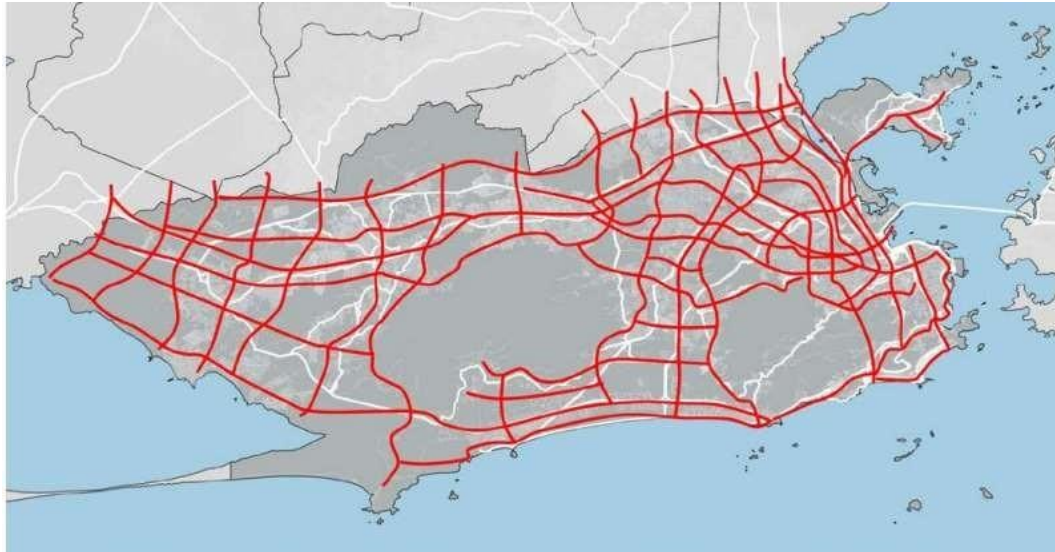
Conforme Cruz (2018), em 1965, foi aprovado o Plano Dioxiadis para reformular o urbanismo do Estado da Guanabara, agora parte da cidade do Rio de Janeiro, a fim de acomodar a população prevista para o ano 2000. Durante esse período no Brasil, houve um forte incentivo ao uso de automóveis, acessíveis para grande parte da população, como resultado as vias urbanas ficaram congestionadas rapidamente. O plano propôs transformar a malha viária em um sistema reticular, com vias arteriais norte-sul e leste-oeste (Figura 3), utilizando modelos matemáticos para avaliar alternativas. Parte do plano foi concretizada com as autoestradas conhecidas como Linhas Vermelha, Amarela e Lilás, que foram parcialmente implementadas (Figura 4).

Figura 3 - Proposta do Plano Dioxiadis de executar rodovias principais norte-sul e leste-oeste



Fonte: DOXIADIS ASSOCIATES (1965)

Figura 4 - Proposta do Plano Dioxiadis implantado parcialmente no Rio de Janeiro



Fonte: CRUZ (2018)

O Plano Urbanístico Básico (PUB – Rio) foi elaborado em 1977. Diferentemente do Plano Agache e Dioxiadis, o PUB não buscou um modelo ideal, mas um plano de diretrizes para um processo contínuo de planejamento, com atualização e adequação às características do momento e às perspectivas futuras, instituindo o Projeto de Estruturação Urbana (PEU), como instrumento de definição de traçados viários e padrões de uso do solo. No mesmo ano, aquecido pelo PUB- Rio, surge o Plano Integrado de Transportes – Metrô (PIT – Metrô), um plano mais detalhado, e que, a partir de modelos matemáticos mostrou as características viárias segundo matrizes de origem e

destino, e atualizou o traçado metroviário que vinha sendo implantado de forma lenta desde 1968, e retornou a ser executada em 1979 (ROCHA, 1988).

Em 2000, a cidade do Rio de Janeiro tinha uma população de aproximadamente 5,8 milhões de habitantes (IBGE, 2000), dessa forma necessitava elaborar o Plano Diretor de Transportes e Mobilidade (PlanMob), sob o Estatuto da Cidade.

Em 2003, o diagnóstico do Plano Diretor de Transporte Urbano (nome antigo do PlanMob) da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (PDTU – RMRJ) foi finalizado. Apesar da obrigatoriedade de realizar o PDTU, o horizonte temporal da elaboração das diretrizes era pouco claro, e o serviço entregue se limitou a descrever a situação dos transportes nas RMRJ. Embora considerasse as características da população na matriz origem e destino, as propostas não consideraram a mitigação da desigualdade no problema da mobilidade (LUFT, 2020).

Luft (2020) apontou as atualizações do PDTU em 2013, citando que este apresenta um maior nível de detalhes e considera investimentos relevantes realizados (*bus rapid service, Bus Rapid Transit*, veículo leve sobre trilhos, ampliações da rede metroviárias etc.), além das demandas especiais geradas devido aos eventos da Copa do Mundo 2014, dos Jogos Olímpicos em 2016 e de festivais de música. Um dado importante fornecido pelo PDTU de 2013 foi a definição das zonas de tráfego de cada cidade. O zoneamento é um elemento chave para a modelagem de transporte, pois quanto maior a divisão das cidades em zonas, maior a precisão dos resultados dos modelos de Geração e Distribuição. No caso, a cidade do Rio de Janeiro está atualmente dividida em 456 zonas de tráfego.

No ano de 2019 foi elaborado o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) desenvolvido pela Prefeitura do Rio de Janeiro, que utiliza os dados do PDTU de 2013 e tem como objetivo estratégias para priorizar o transporte público e o não motorizado. Todas as medidas em acordo com as diretrizes do Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro (Lei Complementar 111/11), da Política Municipal de Mudanças Climáticas (Lei 5.248/11) e da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei 12.587/12).

Esta pesquisa se avalia apenas a cidade do Rio de Janeiro, por ser a cidade central da Região Metropolitana que teve ênfase nos planejamentos mencionados. O Rio de Janeiro está entre as cidades do mundo que têm uma longa história de incentivo a inovações tecnológicas, que permitem aos cidadãos acessar bens e oportunidades de maneira eficiente. No entanto, a facilidade

de acesso tem sido cada vez mais difícil de manter sob a rápida urbanização (ÇOLAK; LIMA; GONZÁLEZ, 2016).

Os esforços para tornar adequada a mobilidade urbana no Rio de Janeiro foram constantes nos últimos anos. O resultado segundo Fontoura, Ribeiro e Chaves (2019, p 3), é uma rede de transporte com “170 km de trens, 125 km de *Bus Rapid Transit* (BRT), 58 km de metrô, 12 km de veículo leve sobre trilhos (VLT), 54 km de *Bus Rapid Service* (BRS), 420 km de ciclovias e 4 linhas de barcos na Baía de Guanabara”.

Apesar das iniciativas parcialmente implementadas, o Rio de Janeiro ainda enfrenta intenso congestionamento e o transporte público não tem oferta qualificada suficiente para a demanda. Além da população residente, o turismo em massa afeta o sistema de transporte local. Também a realização de megaeventos em cidades de países em desenvolvimento, como o Rio de Janeiro, torna evidente e aumenta a necessidade de um planejamento eficaz da mobilidade urbana, devido às restrições na infraestrutura de transporte, que não consegue atender às necessidades de deslocamento diário (VITORINO GUIMARÃES *et al.*, 2021).

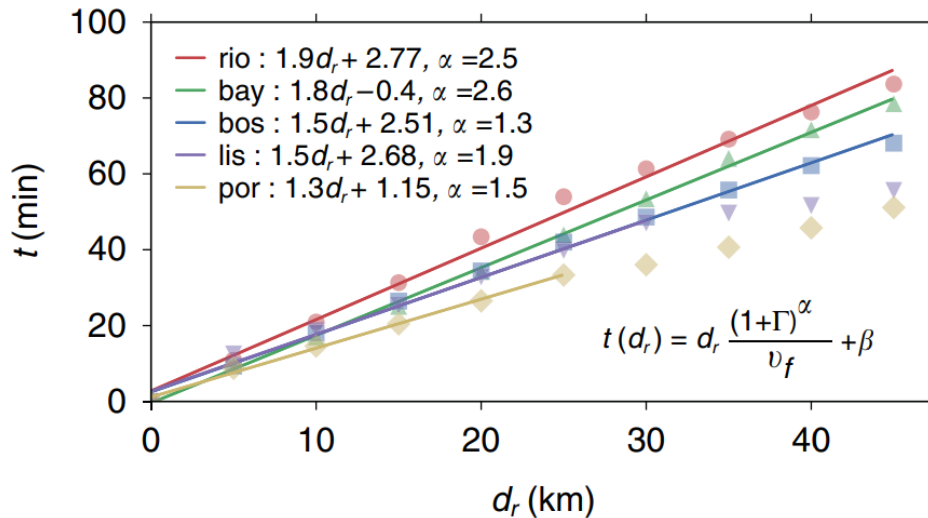
Em 2003, o Rio de Janeiro tinha uma baixa taxa de posse de automóveis, com apenas 110 carros por 1.000 habitantes, em contraste com os 830 nos Estados Unidos. Como resultado, a maioria das viagens de longa distância era realizada por meio de transporte público, representando 46,7% do total de deslocamentos. No entanto, o Rio de Janeiro não estava preparado para o transporte em massa, com apenas três corredores ferroviários, todos terminando na mesma estação, a Central do Brasil, e apenas duas linhas de metrô. Esses serviços públicos estavam sobrecarregados e atendiam apenas 7,1% das viagens em transporte público (VITORINO GUIMARÃES *et al.*, 2021).

A maior parte do transporte público era fornecida por uma ampla rede de linhas de ônibus, embora em 2003 houvesse poucos corredores de ônibus e eles estivessem congestionados. Isso resultava em um sistema de transporte público lento, irregular e desconfortável, especialmente durante os horários de pico. Além disso, a falta de opções como bilhetes de temporada ou passes de trânsito era um desafio adicional (MOTTE-BAUMVOL, 2016)

O estudo feito por Çolak, Lima e Gozález (2016) compara o sistema de transportes do Rio de Janeiro com quatro cidades ao redor do mundo, a partir de informações sobre a capacidade rodoviária, o número de veículos em circulação e o nível de congestionamento obtidos através de rastreamento de celulares, e o resultado mostra que o Rio de Janeiro é a cidade mais lenta entre as

avaliadas e apresenta um nível de congestionamento significativamente superior, levando em consideração o tempo de viagem (t) e a rota dos passageiros (d_r) (Figura 5).

Figura 5 - Tempos de viagem pendulares versus distâncias de rota dos passageiros, d

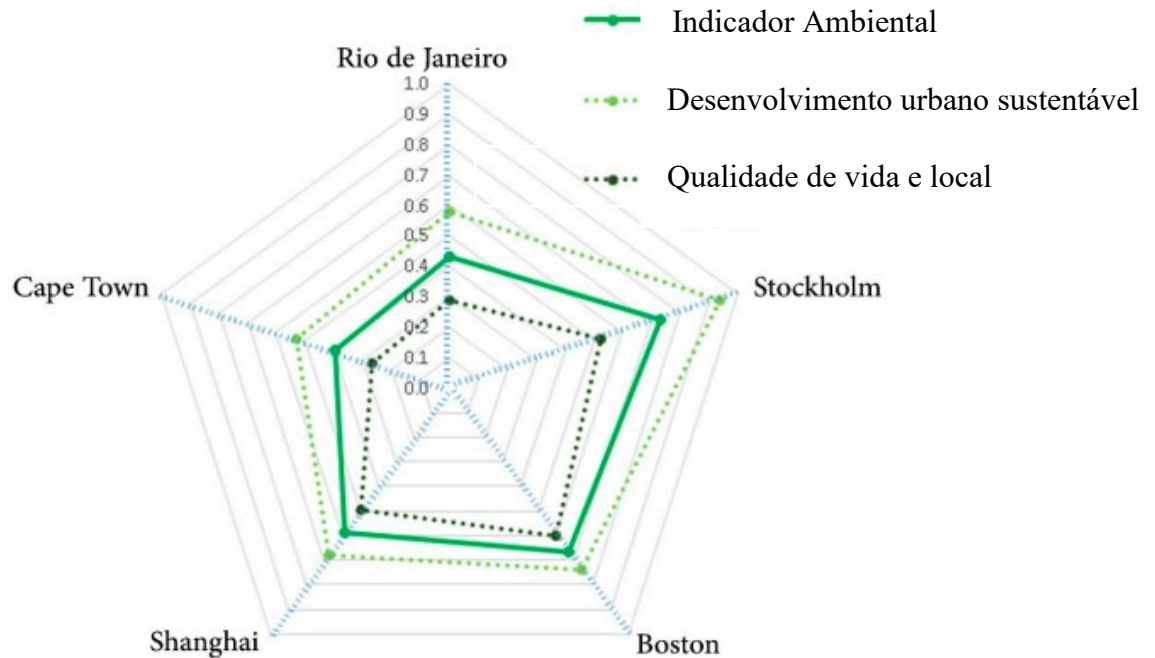


Fonte: Adaptado de ÇOLAK; LIMA; GONZÁLES (2020)

Em outro estudo, realizado por Molinaro *et al.* (2020) novamente o Rio de Janeiro é comparado com outras quatro cidades, porém para avaliar o Índice de Desenvolvimento Urbano (IDU). Entre os cinco indicadores utilizados para a análise, o Indicador Ambiental mostra a fragilidade da mobilidade urbana no Rio de Janeiro, sendo que o desenvolvimento urbano sustentável na cidade é dificultado por ter uma alta densidade populacional e falta de elementos promotores de intermodalidade (Figura 6).

Boston se destaca em densidade e mobilidade urbana em comparação com o Rio de Janeiro e a Cidade do Cabo. Enquanto Boston demonstra eficiência em sua infraestrutura, as outras cidades enfrentam desafios de densidade populacional elevada e sistemas de mobilidade subdesenvolvidos. A falta de desenvolvimento na mobilidade urbana nessas áreas contribui para problemas como tráfego intenso, superlotação nos transportes públicos e maior tempo de deslocamento. No caso do Rio de Janeiro, medidas cruciais para melhorar a mobilidade urbana incluem investir em conexões intermodais, expandir as redes de metrô e ferrovias, e atualizar seus componentes. (MOLINARIO *et al.*, 2020)

Figura 6 - Gráfico comparativo para o indicador ambiental



Fonte: Adaptado de MOLINARO *et al.* (2020)

Motte-Baumvol *et al.* (2016), realizaram uma pesquisa direcionada a cidade do Rio de Janeiro sobre imobilidade urbana, e concluiu que 46% da população não realiza viagens em algum dia da semana. As razões que impedem a mobilidade urbana dessa parcela estão ligadas principalmente às barreiras físicas (locais sinuosos, íngremes e altos relevos) e perceptivas, como grandes conglomerados longe de bairros de alto padrão.

2.2 MOBILITY AS A SERVICE (MaaS)

Devido a limitação do espaço físico, soluções eficazes para a mobilidade urbana devem se basear na organização da infraestrutura de transporte existente. Essa infraestrutura deve ser diversificada e funcional. A integração e o compartilhamento dos diferentes modos de transporte disponíveis promovem uma mobilidade urbana fluida, acessível e democrática (BELLONE *et al.*, 2021; KIM *et al.*, 2021).

Nesse contexto surge o *Mobility as a Service* (MaaS), um conceito proveniente da tendência de mobilidade inteligente. Atualmente, o termo possui diversas definições. De acordo com Kamargianni *et al.* (2016), o termo representa a compra dos serviços de mobilidade ao invés

da aquisição de um meio de mobilidade, sendo que a atratividade para os viajantes depende do nível e da forma de integração dos serviços oferecidos.

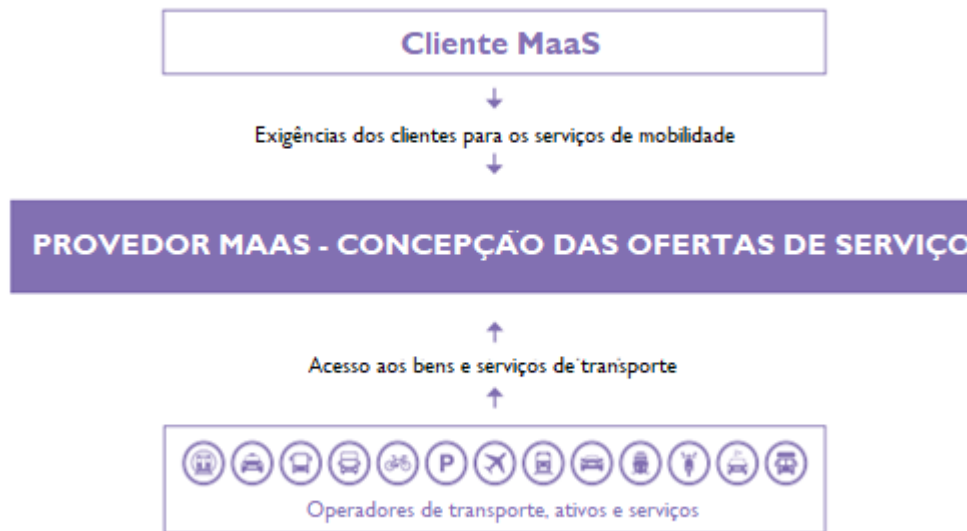
2.2.1 Definição de MaaS

Um estudo abrangente feito por Henssher *et al.* (2020) define o MaaS em uma ideia única, resumindo em um conceito relacionado à troca da propriedade e uso do carro particular para uso do serviço de mobilidade. O serviço de mobilidade, através uma plataforma digital possibilita uma visão ampla e adaptada às necessidades individuais do viajante. Essa configuração favorece os modos transportes compartilhados, visto que o custo pode ser rateado entre os viajantes, favorecendo também a integração entre modos de transportes, pois o viajante opera apenas uma plataforma com uma variedade de possibilidades.

Melo, Andrade e Brasileiro (2018) complementam que o MaaS é um serviço que fornece informações sobre diferentes modos de transporte, públicos ou privados, intermediando fornecedores de transportes a usuários, acessado através de uma plataforma com único pagamento (mensal, semanal ou por viagem). Tratar o setor do transporte como um serviço único e ágil, em direção à transformação guiada por consumo colaborativo, veículos de alta tecnologia, dispositivos digitais, além de uma nova política de transportes que promove o desenvolvimento sustentável.

Segundo Bellone (2021 p. 1) o “MaaS visa revolucionar a mobilidade humana com um impulso para modelos baseados em assinaturas digitais. Essa mudança ocorreu efetivamente no setor de mídia onde música, notícias, livros e filmes são cada vez mais consumidos por meio de serviços por assinatura digital como alternativa ao modelo de propriedade.”

Polydoropoulou *et al.* (2020) ampliam a compreensão do MaaS, destacando que suas características e conceitos operam em um sistema inteligente de distribuição e gerenciamento de mobilidade, no qual o usuário é o centro das informações. Dessa forma, ao utilizar o sistema, o usuário gera dados relevantes. O integrador do sistema MaaS consolida as ofertas de diversos provedores de serviços de mobilidade por meio de uma interface digital, possibilitando que os usuários finais planejem e efetuem o pagamento por serviços de mobilidade de maneira integrada. Essa integração abrange uma variedade de modos e serviços de transporte, englobando tanto opções tradicionais quanto emergentes (Figura 7).

Figura 7 - Esquema do Conceito *Mobility as a Service*

Fonte: LIMA (2018)

2.2.2 Evolução do MaaS

O MaaS é visto como uma transição da mobilidade que é satisfeita por um modelo dominante de propriedade de carro para um modelo de serviço em que as necessidades de mobilidade são atendidas por um conjunto de serviços multimodais. O ambiente de pesquisa do MaaS é fortemente impulsionado pelo comportamento de viagens da geração mais jovem, que parece ser menos dominada pela posse do carro e mais pelo interesse em tudo que é tecnológico, principalmente em seus telefones inteligentes (MULLEY *et al.*, 2019).

Portanto, a evolução do MaaS nos últimos anos está diretamente relacionada ao comportamento da nova geração social (conhecida como geração Y). Se destaca por não considerar os carros como símbolos de condição financeira ou poder, em vez disso, contribui para a diminuição das taxas de obtenção de carteiras de motorista. Além disso, os consumidores jovens emergem como a força propulsora por trás do crescimento da economia colaborativa e do acesso a serviços, uma abordagem conhecida como "servitização", que enfatiza o aluguel de bens e serviços conforme a necessidade, em vez da aquisição permanente (HENSSHER *et al.*, 2020).

Lyons, Hammond e Mackay (2019) adicionam que o conceito MaaS não é totalmente novo, embora existam novos fatores significativos envolvidos, como veículos autônomos e

evoluções da tecnologia de informação, há fatores estudados há décadas ligados ao desenvolvimento de informação que consiste em informar, auxiliar e influenciar o comportamento de viagem no planejamento entre os modos de transportes.

A Suécia e a Finlândia são os dois países responsáveis pelo pioneirismo do MaaS aplicado. Iniciativas como a UbiGo foram serviços pioneiros de MaaS em Gotemburgo, na Suécia, onde por seis meses, entre novembro de 2013 e abril de 2014, aproximadamente 70 assinantes fizeram um total de 12.000 transações. Após o teste, 80% dos clientes ainda queriam continuar a utilizar o serviço. A primeira aplicação comercial, em 2016, foi realizada na Finlândia, através do aplicativo Whim. Com apoio governamental e abertura do mercado para fornecimento de dados, a perspectiva é de que o MaaS tenda a continuar ser bem-sucedido (SIPE; POJANI, 2018).

O estudo de Smith *et al.* (2018) mostra que de novembro de 2019 a março de 2020, foi testado um protótipo de serviço MaaS que incluía um planejador de viagens multimodal com pagamento e uma carteira de funcionalidades. O ensaio foi realizado na área metropolitana de Sidney, Austrália, onde a plataforma MaaS denominada Tripi foi utilizada ao menos uma vez por um grupo de 70 pessoas pré-selecionadas que apresentaram contribuições para a literatura, como:

- 82% das pessoas que aprovaram o uso plataforma tinham acesso a automóveis, famílias com mais de um carro abririam mão do segundo carro para utilizar o serviço;
- a curiosidade e vontade generalizada de contribuir com um transporte sustentável;
- os participantes valorizaram muito as funções de suporte e retornos oferecidas. Apesar de não ser o objetivo central, mostra que a fidelidade do viajante está relacionada a experiências de outros usuários.

2.2.3 Elementos do MaaS

Kamargianni *et al.* (2016) mostram que o *Mobility as a Service* (MaaS) se baseia em três elementos principais para oferecer viagens intermodais sem interrupções, são:

- integração de bilhetes e pagamentos: acontece quando um único cartão inteligente ou bilhete é capaz de dar acesso a todos os modos de transporte envolvidos no serviço, e o pagamento é centralizado em uma conta única;

- pacote de mobilidade: envolve a pré-compra por parte dos clientes de uma quantidade específica de serviços de mobilidade, em termos de tempo ou distância, como um produto único;
- integração de tecnologia da informação e comunicação: refere-se à presença de uma única plataforma, um aplicativo ou interface online, que proporciona acesso a informações abrangentes sobre os diferentes modos de transporte disponíveis.

A literatura sobre integração muitas vezes se concentrou no contexto do transporte público, no entanto, essa abordagem muitas vezes deixou de incluir modos de mobilidade compartilhados e até mesmo modos de transporte privados. A lógica da integração foi refinada, fim de potencializar todas as formas de transporte e proporcionar uma integração eficiente entre os diferentes modos. Essa evolução sugere uma compreensão mais abrangente e inclusiva da integração, incorporando uma variedade de modos de transporte para garantir uma abordagem mais eficiente e holística (HENSHER *et al.*, 2020).

Os elementos principais citados afetam diretamente dois indicadores do MaaS. Primeiro, a eficiência espacial, definida como o número de pessoas transportadas por unidade de área e pode ser medida como o número de passageiros transportados por veículo/comboio (ou por unidade de espaço rodoviário equivalente). No entanto se deve considerar que a capacidade de um veículo e seu carregamento podem ser imensamente diferentes, principalmente durante diferentes horas do dia.

O outro componente é a eficiência temporal, que considera se o veículo está em movimento ou ocioso, e é medida pela proporção de tempo que um veículo passa na estrada (em serviço de receita para transporte público). A integração temporal entre os modos públicos e compartilhados oferece o potencial de desenvolver sinergias (SMITH *et al.*, 2018).

Esses indicadores refletem a importância de otimizar não apenas a capacidade dos veículos, mas também o tempo em que estão em serviço para proporcionar uma mobilidade mais eficiente.

2.2.4 Transporte responsivo à demanda (DRT) e o contexto MaaS

O conceito de *Mobility as a Service* (MaaS) é frequentemente confundido com termos como mobilidade sob demanda (MOD), transporte responsivo à demanda (DRT), serviços de transporte flexível (FTS) e mobilidade flexível sob demanda (FMOD). No entanto, é essencial destacar que esses são exemplos de serviços de mobilidade que contribuem para a compreensão do MaaS. A diversidade de terminologias mostra a complexidade do ecossistema de mobilidade. Com uma análise mais aprofundada é possível discernir suas distinções e compreender o suporte mútuo entre os termos (HENSSHER *et al.*, 2020).

O termo “sob demanda” abrange serviços de mobilidade que acontecem de forma pontual, esses serviços acompanham a personalização que os clientes acessam ou contratam, de onde precisam e na hora mais oportuna, através de uma plataforma digital (QIAO; YEH, 2023).

Por exemplo, uma pesquisa realizada por Franco, Johnston e McCormick (2020) mostra que DRT se refere a serviços de transporte, como ônibus ou vans, que são adaptados para atender a demanda específica dos passageiros. É frequentemente associado a soluções de transporte público flexíveis, onde as rotas e horários podem ser ajustados conforme a demanda.

De acordo com Qiao e Yeh (2023), a relação entre o DRT e o *Mobility as a Service* (MaaS) está na integração e à oferta abrangente de soluções de mobilidade. No contexto do MaaS, o DRT pode ser integrado como uma opção de transporte, junto com outros modos de transporte, em uma única plataforma ou aplicativo. Os usuários do MaaS podem ter a opção de utilizar serviços de DRT juntamente com transporte público, compartilhamento de carros, bicicletas, etc., tudo em uma única interface.

2.2.5 Benefícios e Desafios do MaaS

No contexto de mobilidade urbana, o MaaS proporciona grandes melhorias. A facilidade na obtenção do serviço pode ser um importante elemento para substituição da posse do carro, diminuindo a frota desses veículos na malha viária, resultando em menos congestionamentos. O MaaS também incentiva o uso compartilhado, caronas e transportes sustentáveis com baixo impacto ambiental (bicicletas e patinetes). Para a economia, é um mercado novo que pode atrair investidores e gerar movimentação monetária (LIMA, 2018).

Henssher *et al.* (2020) enfatizam que uma plataforma única que integra vários modos de transportes, com planejamento e pagamento único, proporciona maior conveniência e acessibilidade aos viajantes, além de economia financeira devido ao modelo de assinatura em relação a propriedade de um veículo particular. Também ajuda na otimização de rotas, garantindo que os usuários escolham as opções mais eficientes em termos de tempo.

O MaaS estimula o desenvolvimento e a implementação de tecnologias inovadoras para melhorar a experiência do usuário e a eficiência dos serviços de mobilidade. A coleta e análise de dados possibilitam a melhoria contínua dos serviços, ajustando-se às necessidades dos usuários e às condições de tráfego em tempo real (SMITH *et al.*, 2018).

O estudo feito por Polydoropoulou *et al.* (2020) indica que o quadro regulatório das cidades, a falta de padronização e abertura das interfaces de programação de aplicativos e a necessidade de investimentos relacionados ao transporte, constituem riscos para a implementação bem-sucedida do MaaS nas cidades e regiões analisadas.

2.2.6 Ecossistema MaaS

Para o sistema MaaS fornecer o serviço de forma eficiente, e necessário atender quatro grupos de interesse, os usuários, os operadores de transportes, o provedor MaaS e o provedor de dados (Figura 8).

Figura 8 - Ecossistema MaaS



Fonte: LIMA (2018)

O provedor de dados oferece soluções através dos grandes volumes de dados obtidos. Esses dados são estruturados e analisados para obter percepções que levam a decisões melhores e ações estratégicas de negócios. As escolhas de viagens ou rotas dos indivíduos são influenciadas pelos efeitos da dependência espacial. À medida que os indivíduos interagem e trocam informações, eles provavelmente moldam suas escolhas comportamentais com base na proximidade espacial ou geográfica. Porém, no enquadramento atual onde existe plataformas digitais, internet e conectividade móvel os indicadores não se limitam em proximidade espacial apenas, ao invés disso, se tem como base as atitudes, satisfações e preferências compartilhadas (VINAYAK *et al.*, 2018).

Por meio de tecnologias dispositivo a dispositivo (D2D), o MaaS, através de uma rede centrada em informações no nível do dispositivo, é capaz de executar operações inteligentes de distribuição de conteúdo, de acordo com as informações inseridas necessárias sobre a mobilidade do usuário e as características solicitadas. Com base na plataforma utilizada, algoritmos otimizam a eficiência geral do sistema, realizando análise de dados, experimentos e modelagem de simulações realistas com base em modelos representativos (CHANDRASEKARAN *et al.*, 2018).

De forma resumida, os usuários usam as interfaces digitais produzindo dados, esses dados são cadeias de valor físico que podem ser projetadas em uma dimensão digital, permitindo os cientistas a influenciarem na cadeia de valor.

2.3 *MULTI-AGENT TRANSPORT SIMULATION* (MATSim)

A simulação computacional é uma ferramenta que auxilia a engenharia, e é uma opção atrativa para lidar com a complexidade dos sistemas de transportes. Em um cenário geral, é uma das ferramentas mais poderosas de análise disponível para projeto e operação de sistemas (AZEVEDO *et al.*, 2016).

De acordo com Gomes (2015) a simulação, em síntese, é a imitação de uma situação real, através de modelos que representam o comportamento e interações dos elementos de um sistema, permitindo conhecimento antecipado da situação e análise de possibilidades.

Um fator que tem acelerado os avanços dos modelos de simuladores de tráfego é o uso dos Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS). Os componentes essenciais desse sistema são coleta, análise e transmissão de dados e informações. Portanto, os simuladores de transportes são ferramentas úteis para realizar essas etapas de forma rápida, segura e eficiente (QUDDUS *et al.*, 2007).

O MATSim é um simulador de tráfego que tem obtido uma crescente utilização pela classe de pesquisadores e profissionais da área de transportes. A utilização de agentes e a capacidade de suportar grandes cenários são algumas das características promissoras e evolutivas (FARINHA, 2013).

2.3.1 **MATSim como ferramenta de simulação**

O MATSim é uma ferramenta de simulação baseada em agentes criada na década de 90, desenvolvida em *java* pelos grupos *Transport Systems Planning and Transport Telematics* e *Transport Planning*, que são liderados pelos professores Kai Nagel e Dr. Kay W. Axhausen, em conjunto com a empresa SENOZON (SANTANA, 2015). Os principais atrativos da plataforma MATSim estão na disponibilidade gratuita, acessível e compreensível. Além disto, os tutoriais

disponíveis mostram de forma detalhada as etapas a serem realizadas, desde a obtenção correta dos dados até a execução, por meio de exemplos fornecidos (FARINHA, 2013).

O MATSim abrange a filosofia *open source* com portabilidade entre os sistemas operacionais, permitindo que a comunidade científica desenvolva simulações em curto prazo de tempo e aprimore a forma da entrada de dados, otimizações e calibrações (SOUSA, 2019). Farinha (2013) acrescenta que outro diferencial é a abordagem indutiva *bottom-up*, onde primeiro são caracterizados os elementos-base do sistema e depois a união desses elementos em diferentes classes, até que o cenário apresente visual adequado ao pretendido.

A ideia principal desse modelo de simulação de transportes está baseada em agentes. Dessa forma os elementos que constituem esse sistema são: agentes, ambiente e regras. Os agentes são unidades que podem interagir e tomar decisões em um ambiente sob regras, essas ações reverberam no sistema como um todo (SOUSA, 2019). Essas representações de pessoas em uma realidade virtual desempenham atividades próxima às reais, com características atribuídas pelos desenvolvedores de simulação, mas que dependem da forma que são modelados (SANTANA, 2015).

Ainda, os agentes são capazes de perceber o ambiente em que está inserido através de sensores e tomar ações sobre ele, podendo assim modificar o ambiente. Um sistema multiagentes consiste em um ambiente compartilhado por uma sociedade de agentes e seus respectivos comportamentos, ações e interações (BICUDO, 2015).

No cenário do agente, existem duas realidades para a tomada de decisões a respeito de um ambiente, primeiro denominado plano estratégico, uma realidade interna, onde são planejadas as ações sobre o ambiente externo, e o plano físico, realidade externa, onde as estratégias são colocadas em prática (FARINHA, 2013).

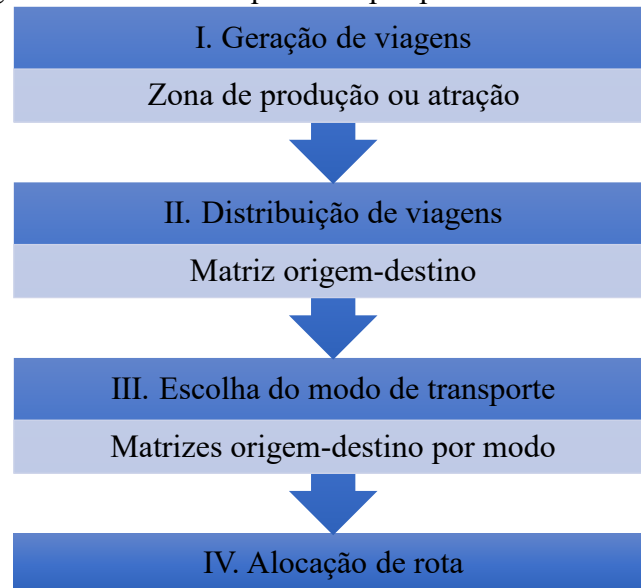
2.3.2 Modelo quatro etapas

Antes do aprofundamento nas etapas do MATSim é necessário esclarecer qual conceito esse modelo de simulação visa atender. O planejamento de transporte tem como objetivo gerenciar e organizar a demanda de transportes, produto da realização de atividades humanas em diferentes locais e do transporte de bens de um local para o outro, com a finalidade de maximizar o bem-estar e minimizar danos negativos dos transportes (FARINHA, 2013).

O planejamento de transporte considera o sistema inteiro, mas leva em consideração decisões individuais dos usuários e o impacto delas no sistema como um todo, visto que os recursos no sistema são limitados (capacidades das vias, espaço etc.). A partir da forma resumida como o sistema de transporte funciona, o modelo ou processo de quatro etapas, é um método clássico que busca equilibrar a oferta e a demanda de transportes (BICUDO, 2015).

O modelo de quatro etapas é uma abordagem amplamente utilizada na modelagem de transporte para entender e prever padrões de deslocamento de pessoas em uma área geográfica específica. Primeiro a ênfase está em compreender como as viagens são geradas, onde as pessoas estão localizadas e quantas viagens são realizadas. A próxima etapa, consiste em distribuir essas viagens na área geográfica. Em seguida é feita a escolha dos modos de transportes que serão utilizados. Por último, esse tráfego é alocado à rede transportes. A figura 9 mostra as quatro etapas e os produtos originários delas (BUTTON, 1977).

Figura 9 - Modelo de quatro etapas para análise de tráfego



Fonte: Adaptado de Button (1977)

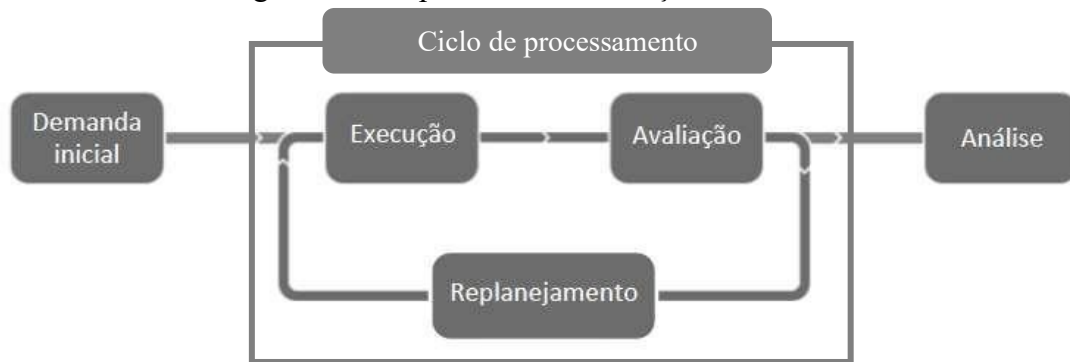
2.3.3 Estrutura do MATSim

Após compreender o conceito de agentes e entender a relação de simulação com o modelo de quatro etapas, a utilização do MATSim nesse contexto se torna mais clara, abrindo espaço para a proposição de modelos e aplicações.

A estrutura do MATSim é baseada em três módulos: a entrada (*input*), o ciclo de processamento da entrada e uma saída (*output*) (BICUDO, 2015).

O ciclo de processamento do MATSim envolve três etapas principais (Figura 10), e um módulo de controle responsável por manter a ordem e gerar dados de saída. A execução da simulação é a primeira etapa, onde os arquivos *network.xml*, *plan.xml.gz* e *config.xml* são carregados e processados na memória, sendo avaliados por uma função de utilidade. Após a avaliação, as informações geradas recebem uma nota de desempenho de acordo com os objetivos estabelecidos. Em seguida, ocorre o replanejamento, durante o qual os agentes ajustam seus planos para criar alternativas até alcançarem uma avaliação melhor. Esse ciclo iterativo continua até que um critério predefinido seja atingido. As alterações durante o replanejamento podem incluir rotas, durações de atividades ou modos de transporte. A classe *controller*, pertencente ao pacote *org.matsim.api.core*, é responsável por gerenciar essas atividades (RIESER, 2014).

Figura 10 - Etapas de uma simulação do MATSim



Fonte: Adaptado de RIESER (2014).

Ao término do ciclo de processamento, é viável conduzir a análise dos dados, seja em relação ao estado do tráfego ou ao comportamento dos agentes. A saída é composta por um conjunto de documentos com os planos, eventos e histogramas de cada interação. Frequentemente, os pesquisadores modelam seis arquivos de saída durante a simulação. Dois desses arquivos estão relacionados ao registro cronológico de eventos, atividades ou mensagens geradas pelo sistema, aplicativo, dispositivo ou processo. Os outros quatro arquivos são utilizados para realizar avaliações qualitativas do comportamento dos agentes ao longo de toda a simulação (BICUDO, 2015).

Assim, o resultado da simulação é genérico e desagregado. Para extrair informações de interesse é necessário que se faça sua agregação. O MATSim realiza algumas rotinas de agregação e o pesquisador também pode realizar por conta própria. O arquivo de saída mais interessante para análise é o `events.xml.gz`, pois é nele que se encontram as rotinas de deslocamento de cada agente (SANTANA, 2015).

A visualização dos resultados é feita pelo software independente Simunto Via (*visualization and analysis tool*), o qual permite visualizar e analisar graficamente os dados do MATSim, bem como o conjunto de dados espaciais e temporais genéricos (SOUZA, 2019).

2.3.4 Problema de Roteirização Dinâmico dos Veículos (DVRP)

A complexidade da aplicação do conceito MaaS exige a utilização de extensões e ferramentas que oferecem um amplo espectro de possibilidades, assim é possível validar os modelos de serviços de transporte de forma segura. A simulação do MaaS exige uma modelagem detalhada que vai além do tráfego e dos meios de transporte existentes. É essencial considerar as constantes mudanças, como atrasos, cancelamentos, mudança de rota e novas solicitações durante a circulação dos veículos, incorporando as interações dinâmicas entre os diversos componentes do sistema.

A ações descritas podem ser limitadas por um problema clássico de otimização combinatória conhecida pelo nome em inglês *vehicle routing problem* (VRP), ou seja, problema de roteirização de veículos, onde os veículos estão localizados em um ponto central e são requisitados para realizar viagens para clientes geograficamente dispersos e cumprir suas exigências em um dado período com rotas planejadas antes do início da execução (VIEIRA, CARDOSO, 2018).

Um problema de roteirização de veículo tem três características principais que são as decisões, objetivos e restrições. No MaaS, as decisões dizem respeito a escolha do modo de transporte e respectiva empresa provedora do serviço, envolvendo também a programação e rota realizadas. Os objetivos principais visam propiciar um serviço de alto nível ao cliente, mas em equilíbrio para manter os custos operacionais atraentes ao usuário. Algumas restrições são capacidade do veículo, restrição do trânsito para certos modos de transporte, velocidades permitidas, horários (janelas de tempo) (HENSSHER *et al.*, 2020).

Portanto o VRP tradicional é estático. Após iniciada a execução do processo de roteirização não é possível realizar modificações (inclusão de novo cliente, exclusão de cliente já previsto anteriormente, mudança de roteiro), entretanto, o MATSim possui o módulo *controler*. Entre muitas responsabilidades desempenhadas, ele permite adaptações dinâmicas.

Para simulação do conceito MaaS, apesar de semelhanças, o VRP é apenas parte do desafio, visto que há uma camada adicional de complexidade, pois envolve a escolha do modo de transporte (por exemplo, ônibus, carro compartilhado, bicicleta) e a seleção da empresa provedora do serviço, o que pode incluir operadores de diferentes modos de transporte, além da forte associação com tecnologias de transportes emergentes de compartilhamento.

Em consequência disso, o MaaS expande o escopo para uma das variações do VRP, o *dynamic vehicle routing problem* (DVRP), em português, problema de roteirização dinâmico de veículos, extensão disponível no MATSim. Enquanto o VRP tradicional se adapta a cenários estáticos, o DVRP incorpora dinâmicas temporais, exigindo estratégias de roteamento que possam se adaptar a mudanças nas condições durante a execução do plano (KUCHARSKA, 2019).

O objetivo do DVRP consiste em conceber o conjunto ideal de percursos para uma frota de veículos de forma a servir um determinado conjunto de clientes, enquanto são geradas novas viagens durante o desempenho da matriz origem e destino prevista. Assim, é possível a inserção e exclusão de demandas sem que isso comprometa o desempenho do serviço que está sendo prestado. Neste caso, as rotas devem ser reconfiguradas dinamicamente durante a execução da simulação atual (MACIEJEWSKI; BISCHOFF, 2015)

Azeredo (2011, p. 22) reafirma:

Quando passamos para a fronteira dos problemas dinâmicos de roteirização, novos clientes podem ser inseridos nas rotas já em execução, diferentemente da variante estática do problema que não admite essa situação. Com a inserção de novos clientes nas rotas esta é reorganizada de forma que continue a oferecer o melhor custo de atendimento.

O DVRP é um problema de otimização NP-difícil, isto é, não existe um algoritmo conhecido que possa resolver todos os casos de DVRP de maneira eficiente em termos de tempo, resolver pode requerer uma quantidade substancial de tempo computacional, e não há garantia de que uma solução eficiente seja encontrada em um tempo razoável. Por isso, as técnicas exatas de otimização não são utilizadas de forma eficaz para resolvê-lo e geralmente são utilizados métodos aproximados, embora não garantam uma solução ótima. Problemas dinâmicos geralmente têm sido

resolvidos usando re-otimização (periódica ou contínua) ou técnicas heurísticas de inserção rápida com técnicas de otimização de fundo (KUCHARSKA, 2019).

Os serviços de transporte dinâmico são simulados no MATSim como um componente do transporte geral de sistema. Acontece que, no caso da aplicação do conceito MaaS, o otimizador conectado à contribuição do DVRP reage aos eventos selecionados gerados durante a simulação, que podem ser: novas solicitações de viagem, saídas ou chegadas de veículos, entre outros. (AZEREDO, 2011).

No MATSim, os serviços de transporte dinâmico são simulados como parte integrante do sistema global de transporte. O otimizador DVRP responde a eventos, como pedidos de envio e movimentação de veículos, adaptando os horários dos motoristas em tempo real. As interações detalhadas entre motoristas, passageiros e despachantes, incluindo solicitações de carona e operações de embarque e desembarque, são simuladas para refletir o funcionamento real desses serviços (MACIEJEWSKI; BISCHOFF, 2015).

2.4 APLICAÇÃO DO MATSIM EM ESTUDOS DE *MOBILITY AS A SERVICE* (MAAS)

Nos últimos anos, muitos trabalhos de investigação na área de mobilidade urbana estão concentrados na avaliação de políticas públicas destinadas a reduzir o impacto ambiental, promover sistemas de compartilhamento de veículos e gerenciar o sistema de transportes de uma região.

As pesquisas realizadas por Maciejewski e Bischoff (2015) e Hörl (2017) são exemplos de estudos que antecedem a aplicação de uma simulação baseada em agentes para o conceito *Mobility as a Service*, voltadas para um único modo de transporte, veículos autônomos e frota de taxis, respectivamente. Ambos concluem que o MATSim pode produzir uma reação consistente na demanda com a introdução de veículos autônomos ou frota de taxis no sistema de tráfego, e também fortalecem a funcionalidade de roteamento dinâmico oferecida pelo módulo DVRP.

Desde 2019, avanços significativos têm ocorrido nas pesquisas, concentrando-se na condução de simulações para viabilizar a implementação do conceito de *Mobility as a Service* (MaaS). Esse progresso é notável especialmente no uso de simuladores com uma abordagem baseada em agentes. Um exemplo pioneiro desse desenvolvimento é o estudo de Segui-Gasco *et al.* (2019), que emprega o simulador MATSim e o compara com o IMSim. Esta pesquisa não apenas destaca as complementaridades entre ambos simuladores, mas também explora a aplicação em

modelos de transporte para a mobilidade autônoma sob demanda que, por sua vez, representa uma das ofertas de serviços dentro do conceito mais amplo do MaaS.

As pesquisas conduzidas por Franco *et al.*, (2020), Becker *et al.*, (2020), Achariyaviriya *et al.* (2021) e Sahbani *et al.* (2023) representam eficazes aplicações da simulação no MATSim para avaliar diversos modos de transporte integrados no contexto do *Mobility as a Service* (MaaS).

Franco *et al.*, (2020) elaboraram uma pesquisa que faz parte de um projeto financiado pela Innovate UK, que explora a introdução de serviços de mobilidade em uma área carente de transporte público, o norte da cidade de Bristol, no Reino Unido. Um serviço flexível de compartilhamento de caronas foi implementado, apoiado por um modelo baseado em agentes, a área, em expansão, exigiu a construção de uma população sintética usando dados de redes de telefones móveis. A integração entre transporte público e serviços de mobilidade privada foi destacada. A modelagem revelou que dados mais granulares proporcionam melhores informações, embora com maior complexidade computacional. Os serviços Buzz e My First Mile foram testados, sendo o primeiro comercialmente viável e o segundo enfrentando desafios devido ao período limitado e incertezas. O estudo destaca a importância de adaptar métodos a áreas em desenvolvimento, contribuindo para futuras pesquisas em mobilidade urbana.

BECKER *et al.*, mostram como o MaaS visa superar a segmentação do mercado ao oferecer serviços de transporte personalizados, adaptados às necessidades individuais. Este estudo simula o impacto do compartilhamento de carros, bicicletas e caronas em um sistema de transporte urbano em Zurique usando MATSim. Os resultados indicam uma redução de 25% no consumo de energia relacionado ao transporte com escolhas de modo menos tendenciosas. A introdução de esquemas de compartilhamento pode aumentar a eficiência energética em até 7%, especialmente em substituição ao transporte público em áreas de baixa densidade. Em resumo, o MaaS com mobilidade compartilhada apresenta potencial para melhorar a eficiência do sistema, reduzindo significativamente o consumo de energia e melhorando tempos e custos de viagem

Um estudo realizado por Achariyaviriya *et al.* (2021) destaca a importância de soluções baseadas em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para influenciar os comportamentos de deslocamento e trabalho das pessoas. O artigo argumenta que a transferência modal é uma solução parcial e propõe o QOL-MaaS, uma extensão do MaaS, para apoiar mudanças espaço-temporais nas atividades de viagem. Essa abordagem visa não apenas alterar os modos de transporte, mas também modificar o local e horário de trabalho, explorando a flexibilidade das

peçoas para gerenciar a procura de viagens. O QOL-MaaS é discutido em relação aos seus potenciais impactos no congestionamento do tráfego, na qualidade de vida e nas emissões de CO₂. Os autores utilizam o MATSim como ferramenta de simulação de tráfego.

Recentemente, Sahbani *et al.* (2023) investigaram o impacto de uma modificação na rede de transporte na região da Rouen Metropole Normandy, França, utilizando a simulação de tráfego baseada em agentes, MATSim. A análise considerou a introdução de estações de bicicletas e novas linhas de transporte. Os resultados indicam um aumento no uso de bicicletas e caronas, além de uma redução no tempo de viagem. Esses resultados ressaltam os benefícios potenciais de modos de transporte sustentáveis e a importância de abordagens inovadoras para lidar com o congestionamento de tráfego

Os resultados e conclusões apresentados por esses autores indicam a confiabilidade das simulações baseadas em agentes. Embora alguns tenham realizado adaptações específicas para seus modelos, todos alcançaram os objetivos propostos. Um aspecto notável nessas pesquisas é a escolha criteriosa dos modos de transporte analisados dentro da perspectiva do MaaS, com uma preferência evidente por modos emergentes e compartilhados, como bicicletas, carros compartilhados, caronas e transporte sob demanda.

3 MÉTODO

Essa pesquisa é de natureza aplicada, visto que o objetivo é gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, além de envolver o interesse local. No presente estudo será possível discutir a aplicação de um conceito emergente de mobilidade urbana em uma cidade brasileira conhecida internacionalmente, e a validação da análise através de um modelo de simulação computacional.

A forma de abordagem do problema de pesquisa é quantitativa e qualitativa. No quesito quantitativo, é uma pesquisa que utiliza recursos e técnicas computacionais, traduzindo em valores numéricos as informações analisadas. Em relação à abordagem qualitativa, esta pesquisa investiga um tópico emergente sob a perspectiva de uma região que ainda não foi diretamente impactada por essa tecnologia. Além disso, busca compreender o contexto social peculiar da área em estudo.

Os planejamentos de mobilidade urbana já realizados por órgãos públicos e privados para o estado do Rio de Janeiro ou específicos para a cidade do Rio de Janeiro são as fontes diretas para a coleta de dados, sendo responsabilidade da pesquisadora analisar os dados indutivamente.

Do ponto de vista dos objetivos, essa pesquisa tem caráter descritivo, consiste em investigações empíricas, que objetivam o delineamento ou análise das características principais ou decisivas de um fenômeno, a avaliação de programas ou ainda o isolamento de variáveis principais ou chave, gerando questionamentos que serão respondidos a partir da aplicação de um método de simulação, assumindo assim a forma de estudo de caso (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Consequentemente, a classificação dos procedimentos técnicos é experimental, uma vez que o objeto de estudo será submetido à aplicação de variáveis e influenciado por uma alternativa no sistema de mobilidade urbana. Também, serão observados os efeitos que elas produzem no objeto, complementando o procedimento do estudo de caso. Por fim, será possível obter um estudo aplicado sobre o objeto de pesquisa, de forma a obter amplo e detalhado conhecimento do assunto.

3.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento deste estudo, as seguintes ferramentas são utilizadas:

- a. MATSim: a versão do MATSim utilizada para o desenvolvimento do estudo será a 0.10.0. É um projeto oficial mantido e gerenciado pela *MATSim Community*, comunidade composta por pesquisadores, desenvolvedores e usuários interessados em simulação de transporte multiagente¹. Possui interface *Graphical User Interface* (GUI) amigável e intuitiva, direcionada a usuários que desejam usar o MATSim editando os arquivos de entrada, incluindo config.xml diretamente. Além de uma variedade de módulos internos;
- b. JOSM: o *Java OpenStreetMap Editor* é um software gratuito usado como ferramenta para editar dados *do OpenStreetMap*². É utilizado neste trabalho para obtenção da malha viária;
- c. Via: *Visualize and Analyze* é um aplicativo independente que permite visualizar e analisar dados MATSim, bem como conjuntos genéricos de dados espaciais e temporais. Por ser um software comercial desenvolvido e distribuído pela Simunto³, o aplicativo não é de código aberto como o restante do MATSim. Uma versão limitada e gratuita está disponível;
- d. *Eclipse IDE for Java Developers*: uma plataforma de desenvolvimento de software de código aberto amplamente utilizada para criar, testar, depurar e compilar aplicativos Java. Desenvolvido pela *International Business Machines Corporation* (IBM) em parceria com a *Object Technology International* (OTI)⁴. O Eclipse suporta a extensibilidade por meio de plugins, o que significa que é possível adicionar funcionalidades adicionais ou suporte para outras linguagens de programação. Neste trabalho ele é utilizado para leitura e edição dos códigos da simulação;
- e. QGIS: o *Quantum GIS*⁵ é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto que permite visualizar, editar e analisar dados geoespaciais. É um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). É utilizado neste trabalho para visualizar dados fornecidos pelo data.rio, banco de dados da cidade do Rio de Janeiro.

¹ <https://www.matsim.org/>

² <https://josm.openstreetmap.de/>

³ <https://www.simunto.com/via/>

⁴ <https://eclipseide.org/>

⁵ https://qgis.org/pt_BR/site/

3.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para definição das variáveis, foi utilizada como base os benefícios oferecidos pelo transporte sob demanda (DRT) em relação ao transporte público convencional (ônibus, metrô, trem e *Bus Rapid Transit*). Essas vantagens refletem no *Mobility as a Service*, no fato de que o DRT pode ser integrado como um dos modos de transporte oferecidos em plataformas MaaS e fortalecem o conceito.

Algumas das características que podem ser aprimoradas pelo uso do DRT incluem acessibilidade, eficiência, sustentabilidade, custo, experiência do usuário, redução do congestionamento e a integração de tecnologias inovadoras. Considerando os benefícios ligados à sustentabilidade, ao custo, experiência do usuário e incorporação de tecnologias inovadoras, estão em nível de detalhamento maior que o proposto neste estudo e suas informações não são de aquisição sistemática, portanto, eles não farão parte deste estudo.

Os benefícios proporcionados pelo DRT podem ser categorizados entre aqueles relacionados ao usuário e ao tráfego urbano. Com base na revisão bibliográfica, se destaca que muitos dos benefícios atribuídos aos avanços nas tecnologias de mobilidade urbana emergentes estão particularmente associados à eficiência do tráfego urbano, que atinge as duas categorias. Dessa forma, para representar a eficiência foi definida a variável tempo de viagem.

O benefício relacionado diretamente ao usuário é a acessibilidade, como visto no estudo feito por Motte-Baumvol *et al.* (2016) sobre imobilidade. Assim, é importante avaliar se o DRT torna o transporte mais acessível a uma gama mais ampla de usuários. Para representar esse benefício foi definida a variável opção de modo de transporte público.

Reduzir o congestionamento é um benefício que atinge o tráfego urbano diretamente. Ao otimizar rotas e evitar viagens desnecessárias, o DRT pode ajudar a reduzir o congestionamento do tráfego. A variável definida foi a densidade de tráfego.

O Quadro 1 apresenta as variáveis definidas para cada benefício oferecido.

Quadro 1 – Variáveis definidas para o modelo

CATEGORIA		TRANSPORTE SOB DEMANDA	TRANSPORTE PÚBLICO COMUM	BENEFICIO	VARIÁVEL DEFINIDA
	Relacionados ao usuário	Ponto fixo, seguro e cômodo para o embarque	Deslocamento até o ponto de embarque	Acessibilidade	Tempo de deslocamento até o ponto de acesso ao modo de transporte escolhido
		Rota flexível	Rota fixa	Eficiência	Tempo de viagem
		Horário flexível	Horário fixo		
Relacionados ao tráfego urbano		Utilização de todos assentos nos veículos, redução da quantidade de veículos no tráfego urbano.	Vários veículos no tráfego urbano	Redução do congestionamento	Densidade do tráfego

Fonte: Elaborado pela autora

A definição dos critérios e, conseqüentemente, das variáveis foi baseada na importância atribuída a eles pela revisão bibliográfica realizada, bem como na viabilidade da coleta sistemática de dados.

3.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Esta seção apresenta os procedimentos para aquisição e processamento da infraestrutura viária e das variáveis: tempo de viagem, densidade de tráfego e escolha do modo de transporte.

Esta fase envolve a preparação das condições essenciais para aplicar o método de um modelo computacional utilizando os recursos do simulador de tráfego MATSim, para a implementação do conceito. Os resultados desta etapa incluem os arquivos de entrada associados à região em análise, abrangendo configurações, malha viária, planos de viagem individuais de cada agente, bem como um arquivo que detalha os veículos do serviço DRT.

Independentemente do conceito em estudo, seja para a aplicação de um método ou para uma nova modelagem, os arquivos de entrada indispensáveis no MATSim são compostos por documentos XML (*eXtensible Markup Language*). Esses documentos contêm informações decisivas sobre as vias de deslocamento (*network*), horários de compromissos, formas de deslocamento (*plans*) e configurações para a otimização da simulação (*config*) (SOUSA, 2019).

3.3.1 Infraestrutura viária

Para criação da malha viária composta de arcos e nós, foi realizada a captura pelo sistema de mapeamento colaborativo *OpenStreetMap* (OSM). Todos os dados do OSM estão disponíveis sob licença do tipo *Open Database License* e podem ser acessadas através do endereço na rede mundial de computadores do projeto.

Os dados da malha viária foram editados pelo *Java OpenStreetMap* (JOSM), que fornece uma interface gráfica amigável para facilitar a edição detalhada de elementos geográficos no *OpenStreetMap*, como estradas, edifícios, rios e outros recursos.

Os dados do JOSM passaram por um tratamento que envolve a correção de inconsistências na rede viária, garantindo que as estradas estejam conectadas corretamente nos nós de interseção, para que não haja interseções inválidas, e que a representação da malha viária seja coerente e pronta para ser utilizada em processos subsequentes, como a alocação de tráfego. Por isso foram usados recursos do módulo *OSM.repair*, para reparação de ruas sem saídas, duplicação de ruas e nós aleatórios não necessários a simulação. Em seguida esses dados são corrigidos novamente e validados.

Para a conversão dos dados em arquivo *network.xml* foi utilizado o plugin MATSim para o software *Java OpenStreetMap* (JOSM).

3.3.2 Opções de modos de transportes públicos atuais

A cidade do Rio de Janeiro possui um portal com banco de dados chamado DATA.Rio¹.

O DATA.Rio foi lançado em 2001 sob o nome de Armazém de dados, um projeto pioneiro do Instituto Pereira Passos (IPP), com foco em desenvolvimento de informações e estatísticas, mapas, estudos e pesquisas centrados na cidade do Rio de Janeiro.

Em 2017, adotou o nome DATA.Rio. O portal passou a incorporar as mais avançadas tecnologias, proporcionando um acesso ágil e interativo às informações para toda a população. Desde 2014 o DATA.Rio recebe dados do Sistema Municipal de Informações Urbanas (SIURB), assim, as inovações acontecem antes da mudança de nome. Desde então, o SIURB tem funcionado como um canal de comunicação entre os diversos órgãos da Prefeitura, promovendo a integração entre eles para aprimorar a produção de dados e informações sobre o Rio de Janeiro.

¹ <https://www.data.rio/>

O portal DATA.Rio colabora com planejamento, integração, gestão e disseminação de informações da prefeitura.

Relacionado ao transporte urbano, são extensas as informações fornecidas. Foram selecionados os dados de modos de transportes que afetam diretamente a região estudada.

Os resultados são exportados como camada vetorial no formato *shapefile*.

Os arquivos de dados selecionados para a variável de opção de modo de transporte foram:

- a. Logradouros: base de dados geográfica dos logradouros da cidade do Rio de Janeiro;
- b. Estações metrô: locais onde os passageiros podem embarcar ou desembarcar dos trens do metrô;
- c. Pontos de parada da rede de transporte público por ônibus (SPPO): A camada contém os pontos de parada da rede de transporte público por ônibus (SPPO) contemplados no GTFS mais recente¹.

A infraestrutura cicloviária atual na cidade do Rio de Janeiro, que foi reavaliada no âmbito do desenvolvimento do Plano Cicloviário - CicloRio, abrange parcialmente a região em análise. No entanto, é importante notar que essa infraestrutura implantada está restrita a apenas um dos bairros abordados neste estudo.

Esses arquivos são visualizados e compatibilizados no QGIS, resultando em uma malha viária que destaca os modos de transporte público disponíveis e os respectivos locais de embarque.

Essas informações são utilizadas na elaboração do arquivo *plans.xml*, quando estabelecido o ponto de embarque em coordenadas "x" e "y" (*node*) e o modo de transporte (*mode*) que o agente utilizará (*person*), conforme exemplo da Figura 11.

¹01 de setembro de 2023

Figura 11 – Modo de transporte e local de embarque escolhido em arquivo *plans.xml*

```

<plans>
  <person id="1" sex="m" age="20" license="yes" car_avail="always" employed="yes">
    <plan age="0" selected="yes">
      <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
        <leg num="0" mode="bus" dep_time="08:00" trav_time="00:30" arr_time="08:30">
          <route trav_time="00:30">
            3405473994 2640480333 2640480323 2640480320 2488031410 3405463383 3405463384 :
          </route>
        </leg>
        <act type="work" link="111496821_10" x="-5410091.930878667" y="-3140554.0708853225">
          <leg num="1" mode="car" dep_time="16:33" trav_time="00:10" arr_time="16:43">
            <route trav_time="00:10">
              3141147080 3140111311 3003550879 3003550878 2944855410 2919514932 2919514931 :
            </route>
          </leg>
          <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
        </plan>
      </person>
    
```

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: DATA.Rio (2023)

3.3.3 Tempo de viagem

O portal DATA.Rio contribui com arquivos que complementam as informações do transporte público, incluindo as rotas atualizadas realizadas pelos modos de transporte disponíveis.

Novamente, os resultados são exportados como camada vetorial no formato *shapefile*.

Os arquivos de dados selecionados que influenciam na variável de tempo de viagem foram:

- a. Trajetos do metrô: rotas que os metrôs seguem no sistema de transporte público subterrâneo;
- b. Itinerários ônibus: rota específica que um ônibus seguirá durante o seu percurso, conforme plano operacional mais recente¹.

Esses arquivos são visualizados e compatibilizados no QGIS, em união com os arquivos de locais de embarque. O resultado é uma malha viária com as informações de transporte público disponível para região completas, relacionadas a infraestrutura.

Outro aspecto levado em consideração para a análise do tempo de viagem, foram os horários das linhas de ônibus e metrô.

O arquivo selecionado no portal DATA.Rio contendo dados sobre rotas, paradas e horários de serviços de ônibus da cidade do Rio de Janeiro regulamentados pela Secretaria Municipal de Transportes foi:

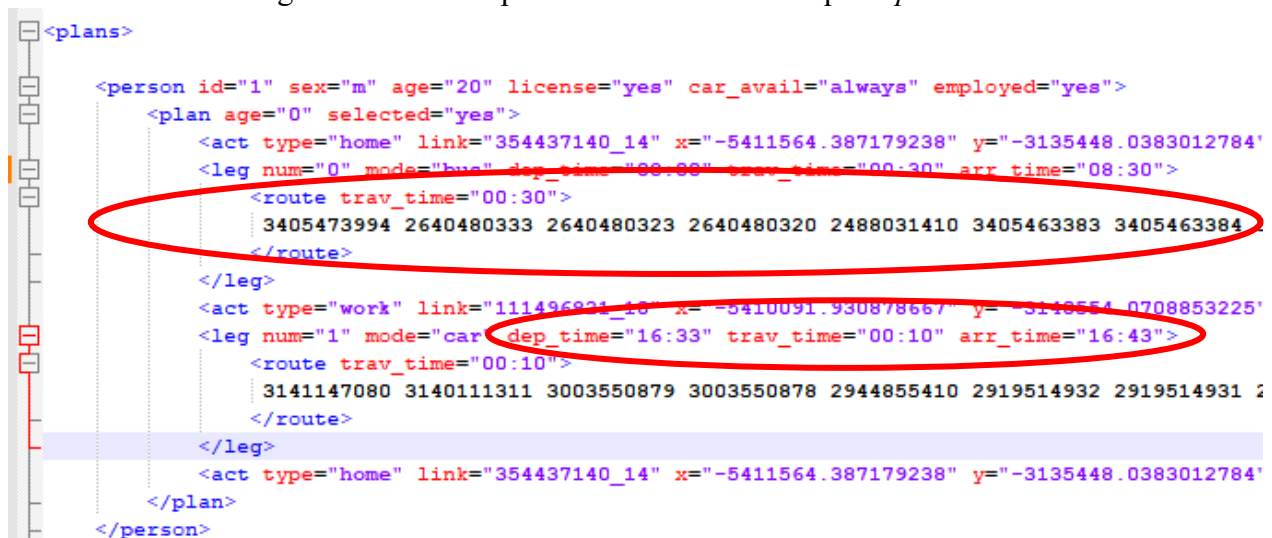
¹08 de novembro de 2023

- a. Arquivo GTFS (Especificação Geral sobre Feeds de Transporte Público), contendo o horário das linhas de ônibus 539 gerenciado pelo consórcio Intersul, linha 104 gerenciada pela empresa de ônibus Gire Transportes e o *Bus Rapid Transit* (BRT) de linha 553 operado pela Transcarioca;

O horário do metrô é fornecido pela empresa responsável por operar o sistema chamado MetrôRio¹. A linha 1 possui a estação São Conrado, que é a mais próxima a comunidade da Rocinha, e estação Antero de Quental que está centralizada no bairro Leblon, região de estudo desta pesquisa.

Essas informações foram incorporadas durante a criação do arquivo *plans.xml* (Figura 12), no qual a rota a ser percorrida (*route*) foi estabelecida. Isso implica a definição do ponto inicial (*node*) de embarque e todos os pontos subsequentes (*nodes*) pelos quais o usuário passará para completar a rota, e o horário que o usuário realiza o embarque (*dep_time*) e desembarque (*arr_time*).

Figura 12 – Rota específica do ônibus em arquivo *plans.xml*



```

<plans>
  <person id="1" sex="m" age="20" license="yes" car_avail="always" employed="yes">
    <plan age="0" selected="yes">
      <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
        <leg num="0" mode="bus" dep_time="08:30" trav_time="00:30" arr_time="08:30">
          <route trav_time="00:30">
            3405473994 2640480333 2640480323 2640480320 2488031410 3405463383 3405463384
          </route>
        </leg>
        <act type="work" link="111496921_18" x="-5410091.930878667" y="-3146554.0708853225">
          <leg num="1" mode="car" dep_time="16:33" trav_time="00:10" arr_time="16:43">
            <route trav_time="00:10">
              3141147080 3140111311 3003550879 3003550878 2944855410 2919514932 2919514931
            </route>
          </leg>
        <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
      </plan>
    </person>
  </plans>

```

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: DATA.Rio (2023)

3.3.4 Densidade do tráfego urbano

A densidade de tráfego consiste na identificação de onde e quantas viagens são geradas em uma determinada área geográfica. O portal DATA.Rio disponibiliza essas informações através dos arquivos de “viagens realizadas e passageiros transportados nos terminais rodoviários

¹ <https://www.metrorio.com.br/>

administrados pela CODERTE e SOCICAM no Município do Rio de Janeiro - 1990-2022” e “total de linhas, frota operante, passageiros transportados, viagens realizadas, quilometragem coberta, combustível utilizado e pessoal ocupado pelo sistema de ônibus no Município do Rio de Janeiro entre 1984-2022”

Outra fonte de dados utilizada foi o Relatório Final da Pesquisa Origem e Destino, parte do Plano de Mobilidade Urbana (PlanMob) elaborado pela prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (2015) e o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS, 2016).

A comunidade da Rocinha apresenta a taxa mais alta de densidade demográfica da cidade do Rio de Janeiro com 558 habitantes/hectares, conforme o PMUS (2016). Em áreas urbanas com alta densidade demográfica, é comum observar uma alta demanda por transporte, o que pode contribuir para uma maior densidade de tráfego nas vias.

Os modos de transporte mais utilizados dentro da região de estudo são os não motorizados, seguidos dos modos de transportes coletivos que somados representam 70% da escolha dos usuários, visto que existe alta oferta de serviços de transporte coletivo. Quanto aos motivos de viagens, aproximadamente 28% realizam trajeto de residência – trabalho (PMUS, 2016).

Essas informações são utilizadas para complementar as informações remanescentes no arquivo *plan.xml*, que são os motivos da viagem (*type*), e a quantidade de viagens, que impactaram a quantidade de pessoas em um planejamento (*plans*), em uma região de malha viária dependendo da escolha do modo de transporte (Figura 13).

Figura 13 – Motivo da viagem e especificação do agente no *plans.xml*

```

<plans>
  <person id="1" sex="m" age="20" license="yes" car_avail="always" employed="yes">
    <plan age="0" selected="yes">
      <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
        <leg num="0" mode="bus" dep_time="08:00" trav_time="00:30" arr_time="08:30">
          <route trav_time="00:30">
            3405473994 2640480333 2640480323 2640480320 2488031410 3405463383 3405463384
          </route>
        </leg>
        <act type="work" link="111496821_10" x="-5410091.930878667" y="-3140554.0708853225">
          <leg num="1" mode="car" dep_time="16:33" trav_time="00:10" arr_time="16:43">
            <route trav_time="00:10">
              3141147080 3140111311 3003550879 3003550878 2944855410 2919514932 2919514931
            </route>
          </leg>
          <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-3135448.0383012784">
        </plan>
      </person>
    </plans>
  
```

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: PMUS (2016)

3.3.5 Configuração e estruturação das variáveis

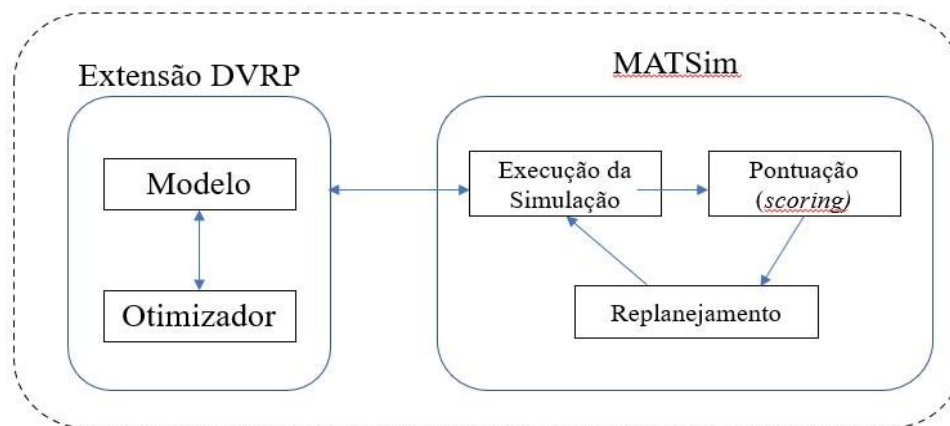
O código base¹ para aplicação do método está disponível no repositório *GitHub*. O *GitHub* é uma plataforma de desenvolvimento colaborativo, acessada de forma on-line e que utiliza o sistema de controle de versão *Git*. Ele fornece um ambiente para desenvolvedores trabalharem em projetos de software em conjunto, realizando o armazenamento, facilitando o gerenciamento de código fonte, acompanhamento de problemas, revisão de código e integração contínua. Os projetos são armazenados em repositórios, que podem ser públicos e acessíveis aos pesquisadores.

O principal objetivo dos exemplos neste repositório é fornecer exemplos de diferentes cenários de uso para serviços MaaS e torná-los fáceis de acessar em um único lugar, enquanto o código real do otimizador permanece nas contribuições do MATSim.

É um projeto que contém uma coleção de exemplos para simular *Mobility as a Service* (MaaS) em Mastim. A estrutura básica para esses serviços são as extensões *dynamic vehicle routing problem* (DVRP).

Assim, modelo não fica codificado diretamente no MATSim. A plataforma MATSim é um ambiente de simulação que permite a modelagem de sistemas de transporte de forma detalhada e flexível. Os modelos específicos, incluindo as regras de despacho de veículos, são desenvolvidos externamente e integrados ao MATSim para análise e simulação (Figura 14)

Figura 14 - Esquema simplificado da simulação do *Mobility as a Service* no simulador MATSim.



Fonte: GitHub, 2023

¹ <https://github.com/matsim-org/matsim-maas>

O arquivo de configuração (*config.xml*), juntamente com o *network.xml* e *plans.xml*, são desenvolvidos externamente. A elaboração do arquivo de configuração requer o uso de algumas funções essenciais no MATSim.

- a. Funções essenciais no MATSim, ligado as principais funcionalidades e comandos disponíveis, que são necessários para configurar e executar uma simulação de transporte. Essas funções incluem definir parâmetros básicos, especificar a localização dos arquivos de entrada e configurar interações entre os agentes na simulação;
- b. Locais dos arquivos, indica a definição dos caminhos dos arquivos que serão utilizados durante a simulação, incluindo informações sobre a rede viária, dados de demanda, e outros elementos necessários para a execução do modelo;
- c. Controlador, descreve a parte do código ou configuração que controla o fluxo de dados durante a simulação. O controlador carrega os dados na memória e os repassa para as classes de controle, que, por sua vez, gerenciam o repasse de informações para as classes responsáveis pelos cálculos de utilidade;
- d. Função de utilidade, envolve as classes e algoritmos que calculam a utilidade ou valor associado a diferentes escolhas feitas pelos agentes na simulação. Esses cálculos são cruciais para entender as decisões dos agentes e avaliar o desempenho do sistema de transporte.

4 APLICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

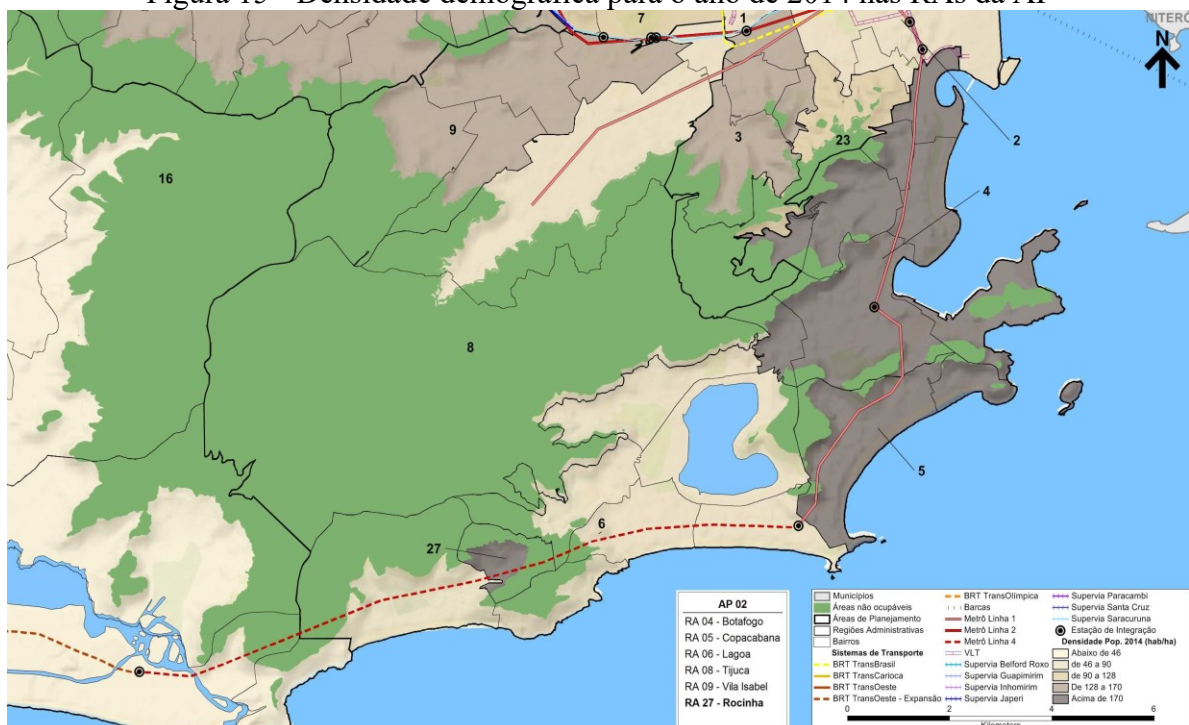
Esta seção está dividida em três partes: caracterização da área de estudo, desenvolvimento da estrutura da malha viária e das variáveis.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo abrange uma região da cidade do Rio de Janeiro, especificamente os bairros Leblon e Rocinha, caracterizados por uma visível discrepância na densidade demográfica, apesar da proximidade geográfica.

Conforme se pode observar na Figura 15, a representação da densidade populacional é indicada pela intensidade de cinza, sendo que tons mais escuros correspondem a áreas mais densamente habitadas. A região que engloba o bairro Rocinha é designada como Região Administrativa 27, enquanto o bairro Leblon está situado dentro da Região Administrativa 06. Essas informações são fundamentadas no Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (2016), que adota uma divisão por Área de Planejamento (AP) e, em seguida, por Regiões Administrativas (RA). Ambos os bairros estão incluídos na mesma Área de Planejamento, a AP 02.

Figura 15 - Densidade demográfica para o ano de 2014 nas RAs da AP



Fonte: PMUS (2016)

Dados do PMUS (2016) indicam que a população no ano de 2014 nos dois bairros do município foi de 115.026 habitantes. Na Tabela 1 são apresentados os dados detalhados para cada bairro, incluindo a Renda Média Domiciliar e Índice de Desenvolvimento Social.

Tabela 1 – Dados socioeconômicos da área de estudos

BAIRRO	POPULAÇÃO 2014 (hab.)	RENDA MÉDIA DOMICILIAR 2014	IDS 2014
ROCINHA	68.982	R\$1.213	0,54
LEBLON	46.044	R\$11.008	0,75
TOTAL	115.026	-	-

Fonte: PMUS, 2016

Relacionado a mobilidade urbana na cidade do Rio de Janeiro, a Pesquisa Origem Destino Domiciliar (PODD) realizada em 2011 usada como base para o PMUS, apresenta uma taxa de mobilidade de 1,99 viagens diárias por habitante. Onde 0,94 são realizadas por transporte coletivo. A Figura 16 mostra o número de viagens realizada por cada modo de transporte no ano de 2011.

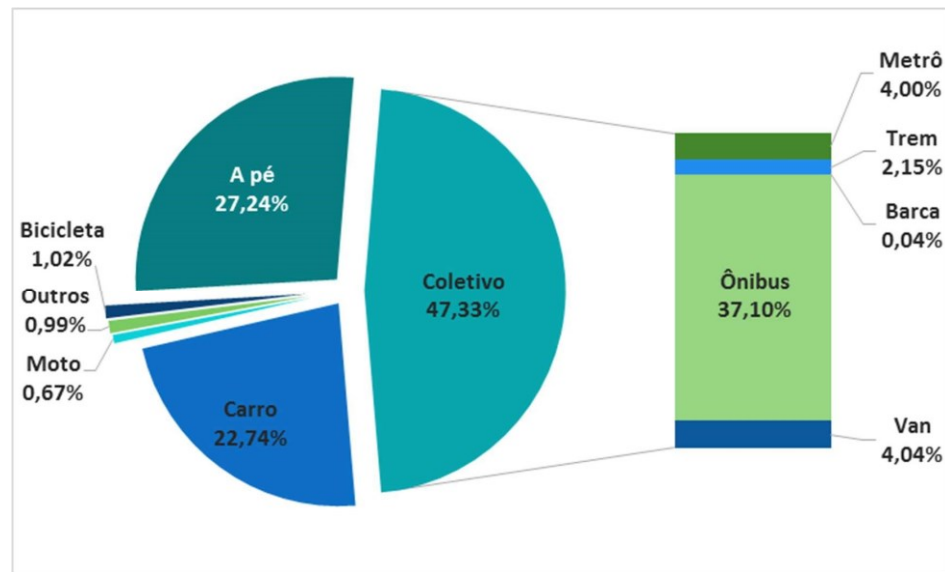
Figura 16 – Número de viagens realizadas no município do Rio de Janeiro por modo de transporte

Modo	Viagens
A pé	3.431.664
Bicicleta	128.230
Metrô	503.214
Trem	270.835
Barca	5.508
Ônibus	4.672.765
Van	509.413
Carro	2.864.320
Moto	84.982
Outros	124.923
TOTAL	12.595.855

Fonte: PMUS (2016)

No gráfico da Figura 17 se observa que os modos coletivos são responsáveis por 47,33% das viagens dos residentes do Rio de Janeiro, sendo que o ônibus é responsável por 37,10% das viagens e constitui o modo de transporte mais utilizado pelos viajantes

Figura 17 - Divisão modal do Município do Rio de Janeiro

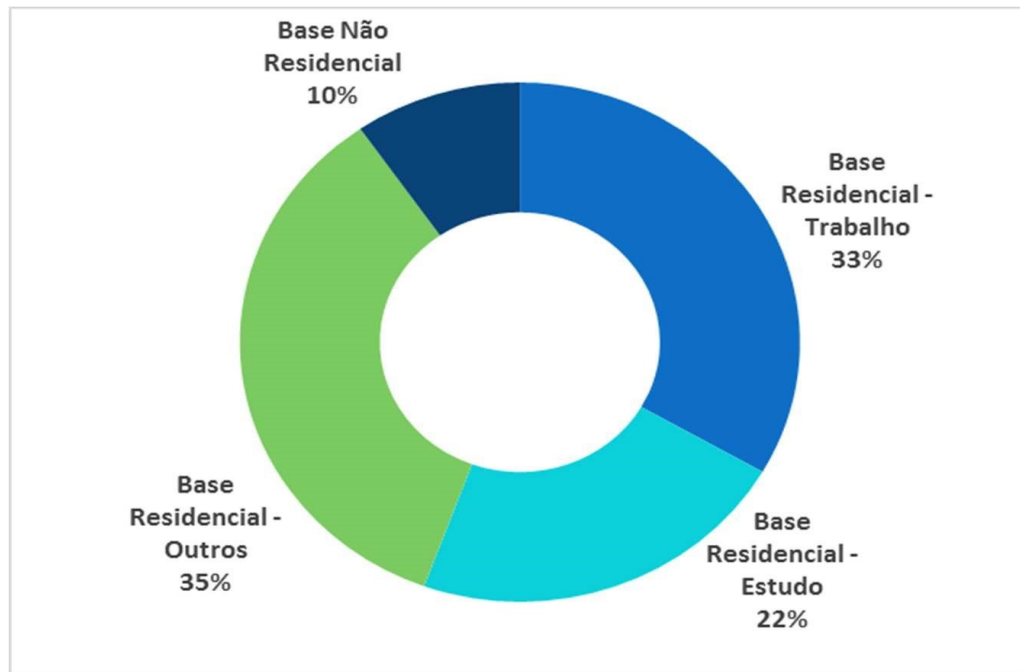


Fonte: PMUS (2016)

O Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS, 2016) aborda informações detalhadas sobre os motivos que levam as pessoas a realizar viagens na cidade do Rio de Janeiro. Essas viagens foram categorizadas com base nos motivos tanto na origem quanto no destino, proporcionando uma visão abrangente dos padrões de deslocamento. Os motivos contemplados no formulário da pesquisa incluem residência, trabalho (negócios), estudo, lazer, saúde, compras, integração e outros.

O resultado dessa análise, apresentado no gráfico da Figura 18, destaca que cerca de 90% das viagens realizadas pelos residentes cariocas têm origem ou destino em suas residências. Especificamente, 33% dessas viagens são motivadas pelo trabalho, 22% por razões educacionais (estudo) e 35% por diversos outros motivos. Os restantes 10% das viagens são classificadas como não residenciais e abrangem atividades de lazer, cuidados com a saúde, compras, integração e outros propósitos.

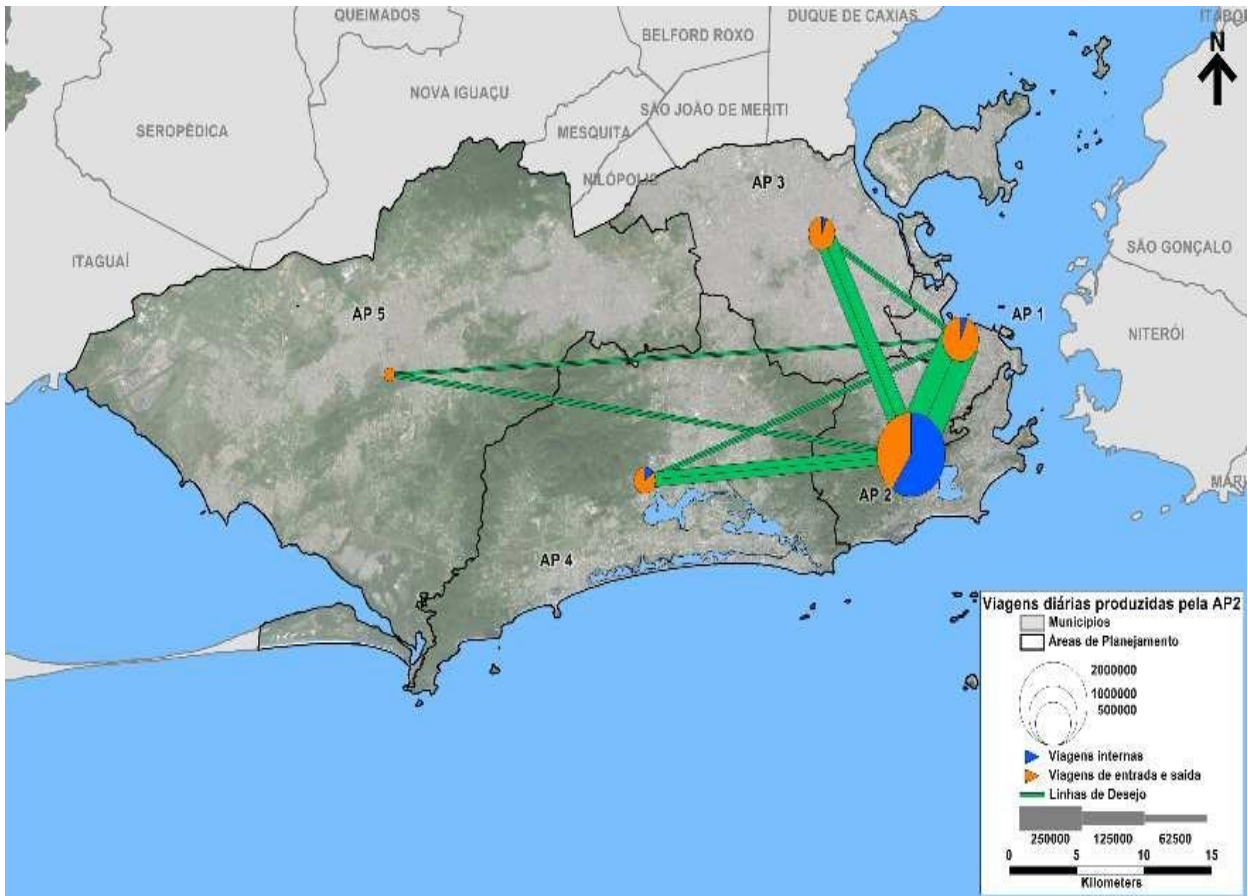
Figura 18 - Motivos de viagens do Rio de Janeiro



Fonte: PMUS (2016)

Essa caracterização é refletida na área de planejamento em estudo (AP 02), onde das 12.595.8555 viagens realizadas na cidade do Rio de Janeiro, 8.113.255 viagens foram realizadas na área de planejamento em estudo (AP 02) em estudo. Também, 35% dessas viagens internas foram realizadas por modos de transporte coletivo e aproximadamente 28% saem de uma base residencial com destino ao trabalho (Figura 19).

Figura 19 - Viagens diárias realizadas pelos residentes da AP 02



Fonte: PMUS (2016)

4.1.1 Transporte e malha viária do bairro Rocinha

A Rocinha passou a ser considerada um bairro e foi delimitada pela Lei Nº 1 995 de 18 de junho de 1993, com alterações nos limites dos bairros da Gávea, Vidigal e São Conrado. A Rocinha é considerada a maior comunidade do Brasil (Figura 20).

Figura 20 – Vista aérea do bairro Rocinha - RJ



Fonte: PMUS (2016)

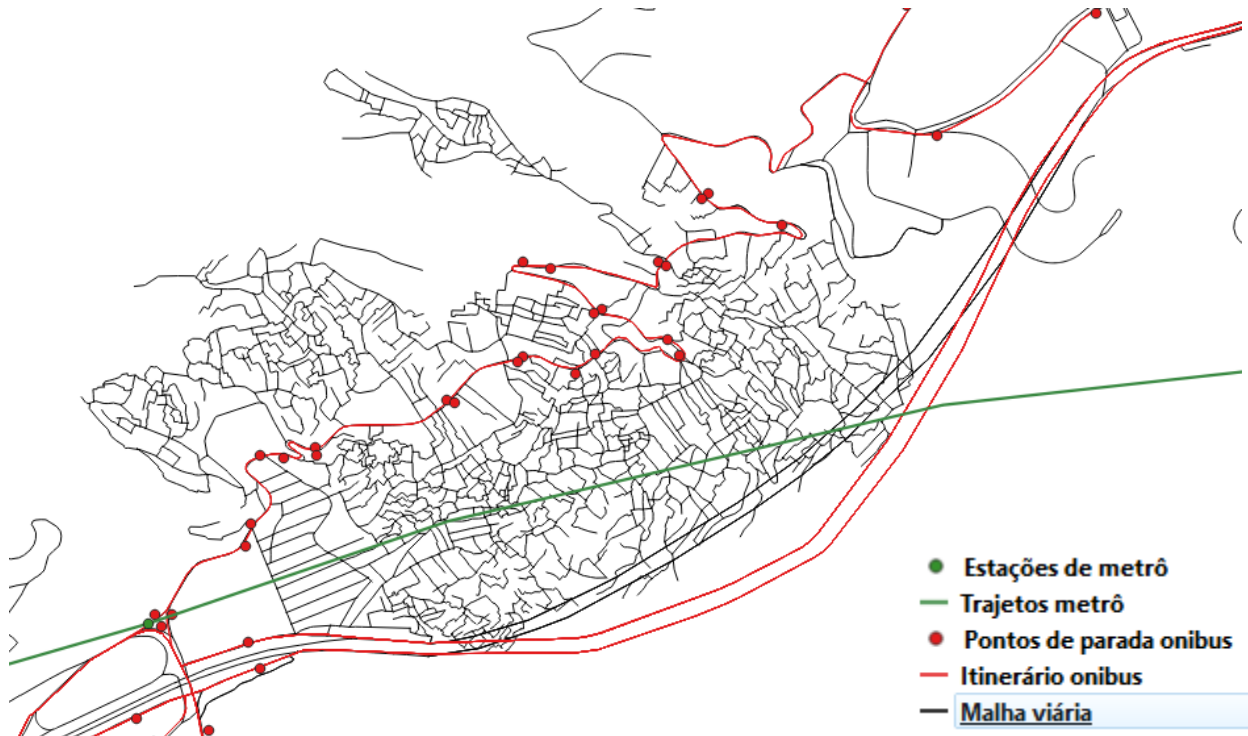
A Rocinha é delimitada pela Autoestrada Lagoa-Barra, uma via que conecta os bairros da Gávea à Barra da Tijuca. Essa via de transporte é percorrida por diversas linhas de ônibus, proporcionando aos residentes da Rocinha acesso a diferentes pontos da cidade.

A Estrada da Gávea, que atravessa a Rocinha, destaca-se como a principal via interna da comunidade. Originada em São Conrado e estendendo-se até a Gávea, desempenha um papel fundamental na estrutura viária local, contribuindo significativamente para a mobilidade dentro da comunidade.

O bairro conta com uma estação do metrô do Rio de Janeiro nas proximidades, a Estação São Conrado, inaugurada em 2016 e que atende a Linha 4.

A Figura 21 mostra a malha viária com as informações de transporte público disponível.

Figura 21 - Malha viária com as informações de transporte público disponível na Rocinha



Fonte: Elaborado pela autora Dados: DATA.Rio (2023)

Dentro da própria comunidade, a locomoção é facilitada por meio de kombis e moto-táxis, oferecendo suporte aos deslocamentos dos moradores, tanto na saída quanto no retorno para casa.

4.1.2 Transporte e malha viária do bairro Leblon

O bairro do Leblon (Figura 22) está na região considerada a mais nobre da cidade. A região é reconhecida pela boa infraestrutura e ruas amplas e bem estruturadas.

Figura 22 – Vista aérea do bairro Leblon - RJ



Fonte: PMUS (2016)

O transporte público na região inclui ônibus, metrô, trem, bicicleta compartilhada e outros modos de transportes público e privados (taxi, por exemplo). No entanto nesse estudo foram considerados os modos de transporte coletivos: ônibus e metrô, porque fazem conexão com o bairro Rocinha.

As principais ruas e avenidas do bairro são:

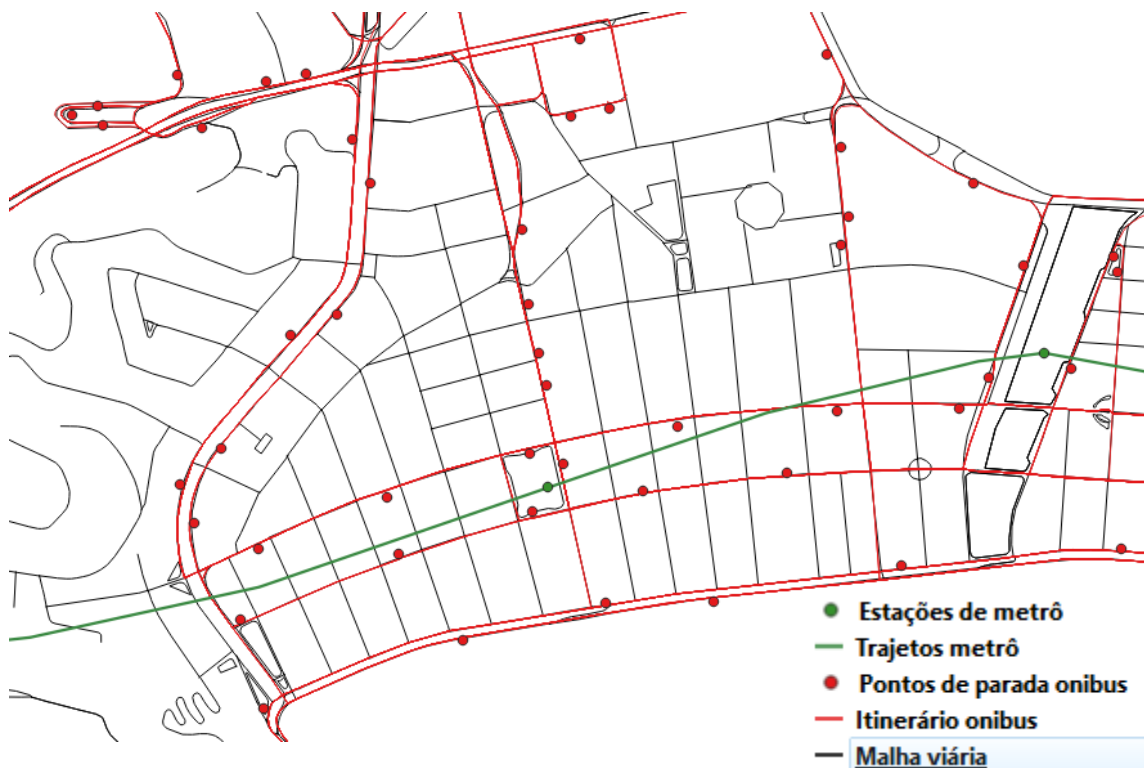
- a. Avenida Delfim Moreira, percorre a Praia do Leblon e leva à Avenida Niemeyer; ao chegar a Ipanema, cruzando o Canal do Jardim de Alá, passa a se chamar Avenida Vieira Souto;
- b. Avenida Bartolomeu Mitre, perpendicular à praia, leva à Rua Mário Ribeiro e à Rua Jardim Botânico;
- c. Avenida Afrânio de Mello Franco, perpendicular à praia, liga a Praia do Leblon à Lagoa Rodrigo de Freitas;
- d. Avenida Visconde de Albuquerque, se inicia na interseção das avenidas Delfim Moreira e Niemeyer e vai até a Avenida Bartolomeu Mitre;

- e. Avenida Ataulfo de Paiva e Avenida General San Martin, paralelas à praia, têm sentidos opostos e levam ao bairro de Ipanema;
- f. Avenida Borges de Medeiros, se inicia na praia e percorre a orla do Canal do Jardim de Alá e a Lagoa Rodrigo de Freitas pelo lado oeste;
- g. Avenida Niemeyer, liga o Leblon a São Conrado.

O bairro do Leblon conta com duas estações de metrô, a Antero de Quental e Jardim de Alá. Essas estações conectam o Leblon a outros bairros da cidade do Rio de Janeiro. Essa infraestrutura de transporte público não apenas beneficia os moradores locais, mas também contribui para a eficiência do sistema de deslocamento na região, facilitando a acessibilidade e a integração entre diferentes áreas urbanas.

A Figura 23 mostra a malha viária com as informações de transporte público disponível.

Figura 23 - Malha viária com as informações de transporte público disponível no Leblon



Fonte: Elaborado pela autora Dados: DATA.Rio (2023)

4.2 ESTRUTURAÇÃO DA MALHA VIÁRIA

É necessário personalizar e ajustar a região de interesse antes de integrá-la ao ambiente de simulação do MATSim, garantindo uma representação mais precisa e alinhada com os objetivos específicos do estudo.

O procedimento detalhado pra definir uma região e preparar para simulação no MATSim usando o JOSM foi realizado da seguinte forma:

- a. Definir região: a área geográfica escolhida envolve os bairros Rocinha e Leblon e o entorno que conecta esses dois bairros, portanto, inclui identificação de bairros, ruas e limites geográficos dessa região;
- b. Realizar o download e instalação do JOSM;
- c. Navegar até a área de interesse, selecionar e baixar os dados da região do *OpenStreetMap*;
- d. Realizar correções e ajustes necessários para validar a consistência dos dados, cujo resultado pode ser visto na Figura 24;

Figura 24- Região em estudo da cidade do Rio de Janeiro no Java OpenStreetMap



Fonte: Elaborado pela autora

- e. Utilizar o plug-in MATSim no JOSM para salvar os dados editados no formato XML, arquivos base contendo a caracterização da malha viária (*network.xml*), compatível com o MATSim (Figura 25).

Figura 25- Região em estudo da cidade do Rio de Janeiro em XML configurado para MATSim



Fonte: Elaborado pela autora

4.3 ESTRUTURAÇÃO DA VARIÁVEIS

Para que as variáveis sejam analisadas, é preciso que estejam presentes no arquivo de planejamento. Esses planos englobam uma série de atividades que os agentes devem realizar ao longo do dia, incluindo informações detalhadas sobre suas localizações, duração das viagens e horários de chegada. Além disso, os planos também especificam os modos de transporte que os agentes planejam utilizar para se deslocar entre esses lugares.

A cada iteração da simulação de 24 horas, os agentes se esforçam para executar esses planos na simulação de tráfego, contribuindo para a dinâmica do sistema de transporte modelado.

Essa abordagem detalhada dos planos de viagem permite uma análise das variáveis relacionadas ao comportamento dos agentes e à eficiência do sistema de transporte simulado.

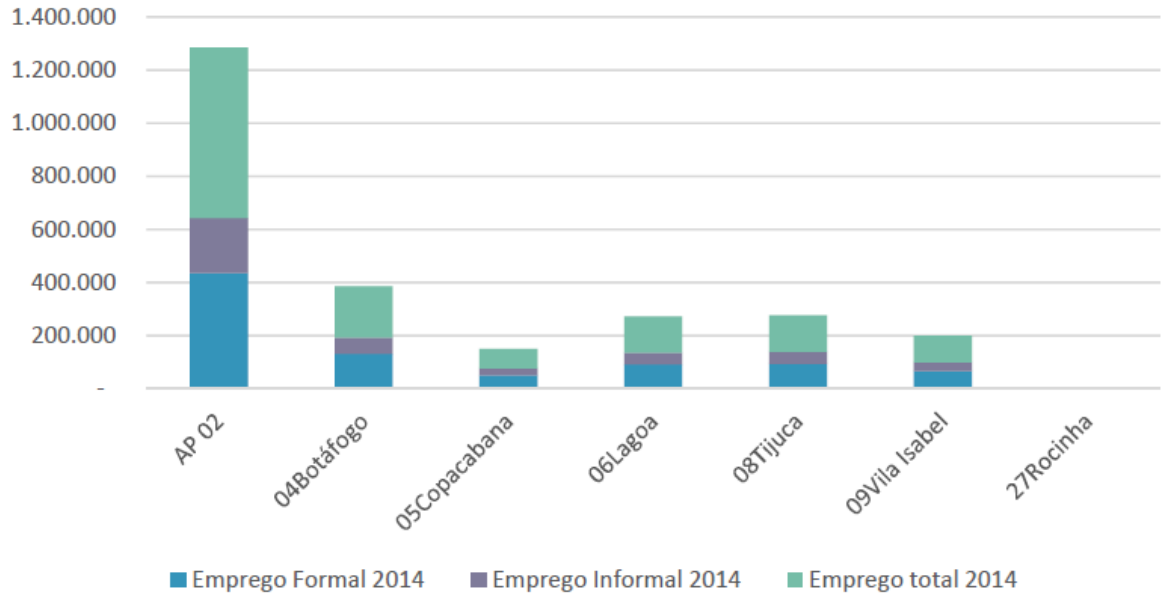
Para criação do arquivo *plans.xml* é necessário analisar os dados e rotinas realizadas pelos habitantes da cidade do Rio de Janeiro.

As atividades mencionadas referem-se à definição dos planos de viagem para os agentes na simulação do MATSim, especificamente no arquivo *plans.xml*. As definições que garantem que as variáveis sejam analisadas são:

- a. Definir a quantidade de agentes com base em uma matriz OD (Origem-Destino) gerada a partir de dados do PMUS (2016). Isso envolve determinar quantos agentes (indivíduos ou entidades simuladas) participarão da simulação e quais serão suas origens e destinos com base na matriz OD. O Simunto Via na versão gratuita permite a análise de 500 agentes, essa é a base de número de agentes utilizada para este estudo (podendo ser a quantidade ampliada em versões pagas), e todas outras caracterizações seguem essa definição proporcionalmente;
- b. Definir características dos agentes. Cada agente na simulação pode ter atributos específicos, como gênero, idade e se é um empregado com carteira assinada (CLT). Essas características podem influenciar o comportamento de deslocamento na simulação. Para este estudo todos podem ter as mesmas características ou serem aleatórias, pois nenhuma variável abrange essas informações, significa que não está sendo avaliado classe econômica, faixa etária e gêneros dos viajantes;
- c. Definir o motivo do deslocamento e a origem. Dentro da região em estudo, foi visto que 28% dos viajantes partem de suas residências para o trabalho, portanto devem ser colocados 280 agentes no arquivo *plans.xml* realizando o trajeto casa-trabalho.

É interessante pontuar que esses agentes saem da Rocinha para trabalhar no bairro do Leblon, visto que de acordo com o PMUS (2016) a maior empregabilidade é no bairro do Leblon que tem uma taxa de emprego de 75 empregos/100 habitantes, em oposição a Rocinha que a taxa é de 1 emprego/100 habitantes (Figura 26).

Figura 26- Empregos gerados por cada região administrativa da AP 02

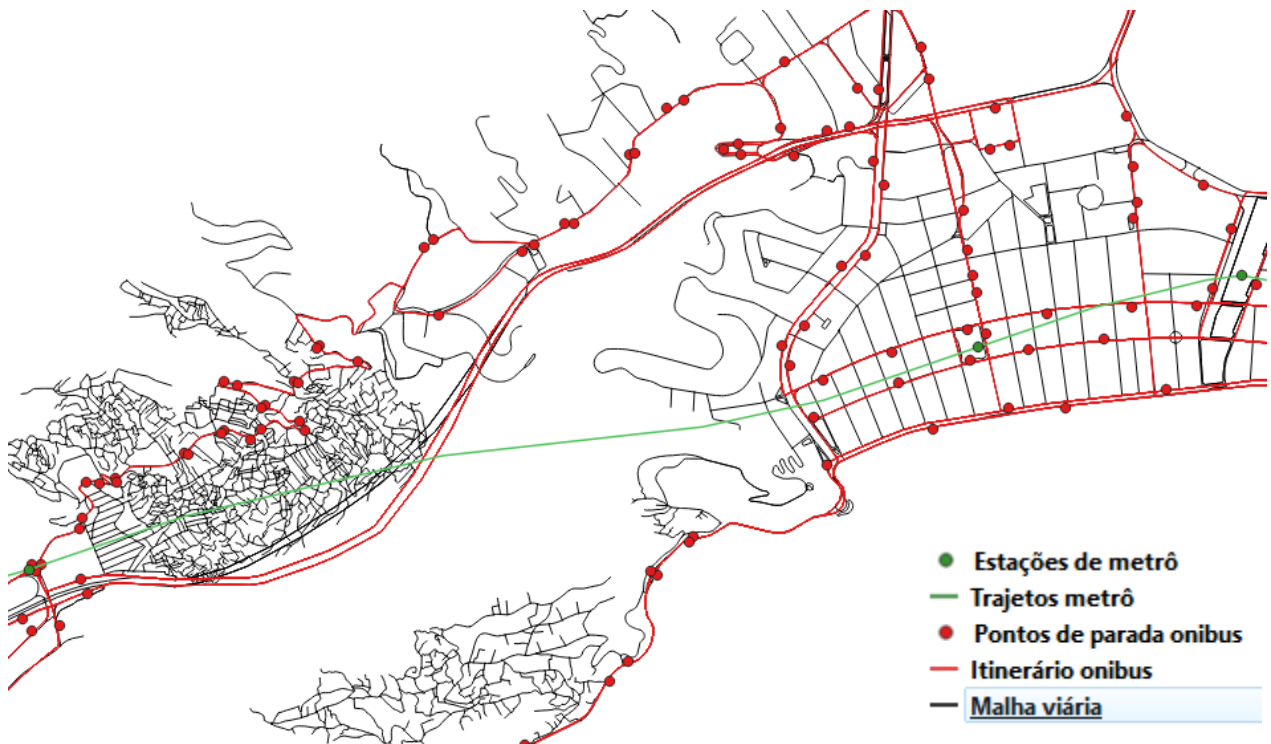


Fonte: PMUS (2016)

- d. Definir o modo de transporte utilizado: cada agente precisa ter um modo de transporte associado ao seu deslocamento. Essa informação é essencial para simular como os agentes se movem na rede de transporte, sendo que 35% dessas viagens foram realizadas internamente por modos de transporte público coletivo. Assim, 98 viajantes dos 280 que realizam o trajeto casa-trabalho, optam por um modo de transporte como ônibus ou metrô.
- Realizando a divisão modal entre os remanescentes, 37,33% optam por ônibus e 4% optam por metrô. Portanto, 37 viajantes realizam o trajeto casa-trabalho de ônibus e 4 realizam por meio de metrô (PMUS, 2016);
- f. Definir o horário do deslocamento: a hora em que o deslocamento ocorre é outra variável importante. Pode incluir informações sobre a hora de início e término da viagem, influenciando a dinâmica da simulação ao longo do dia. Essas informações foram adquiridas dos portais de cada empresa que gerencia as linhas disponíveis;
- g. Definir os pontos de partidas e chegada: abrange as informações das estações de embarque.

O portal DATA.Rio fornece essas informações em arquivo *shapefile*, elas foram compatibilizadas no QGis, conforme Figura 27. As informações de nós e rotas são colocadas manualmente no arquivo de planejamento, levando em consideração a malha viária elaborada.

Figura 27 - Malha viária com as informações de transporte público da região em estudo



Fonte: Elaborado pela autora Dados: DATA.Rio (2023)

Essas definições detalham as características e comportamentos dos agentes na simulação, permitindo que o MATSim reproduza cenários realistas de mobilidade urbana com base nos parâmetros fornecidos. O arquivo *plans.xml* armazena essas informações para cada agente.

Para a região em estudo o arquivo *plans.xml* deve conter 41 agentes que realizam o trajeto casa-trabalho-casa, no período de 24 horas, e realizam esse deslocamento através de ônibus ou metrô.

4.4 APLICAÇÃO DO MAAS NA ÁREA DE ESTUDO

Os arquivos de configuração, malha viária e planos de viagem são incorporados ao código base. Este código base é, então, carregado no ambiente de desenvolvimento Eclipse IDE. É fundamental destacar a presença do arquivo de configuração denominado *pom.xml* (*project object model*), no qual as configurações e dependências essenciais do projeto são definidas.

Para a execução do projeto, é utilizado o Maven, uma ferramenta de automação e gerenciamento de projetos. A execução específica é acionada através da função "RunMaaSGui". Ao executar essa função, o projeto MATSim-MaaS é compilado, construído e iniciado. Isso resulta na abertura da interface gráfica (GUI) do MATSim, proporcionando uma plataforma interativa para a simulação de transporte.

O arquivo de configuração (*config.xml*) é processado na plataforma MATSim, incorporando todas as informações previamente definidas, incluindo as informações de vias (*network.xml*) e informações das ações dos viajantes (*plans.xml*). Esse processo resulta na geração de arquivos de saída nos formatos PNG, planilhas Excel, CSV e XML, que contêm dados essenciais para análises e visualizações relacionadas à simulação.

O arquivo *events.xml* é um resultado fornecido pelo processamento no MATSim, componente essencial que armazena eventos durante a simulação de mobilidade. Ele registra uma variedade de eventos, como movimentos de veículos, embarques e desembarques de passageiros, mudanças de modo de transporte, deslocamentos a pé entre outros. Esses eventos são registrados ao longo do tempo durante a simulação e são fundamentais para análises pós-processamento, visualizações e avaliações do desempenho do sistema de mobilidade modelado.

O arquivo *events.xml* fornece uma granularidade detalhada dos acontecimentos ao longo do tempo, permitindo uma compreensão mais profunda do comportamento do sistema durante a simulação.

Os arquivos *network.xml*, *plans.xml* e *events.xml* são carregados no software Via Simunto, possibilitando visualizar os resultados da simulação em formato dinâmico, isto é, os modos de transportes se deslocando na malha viária de acordo com as configurações predefinidas.

Para aplicação do método é necessário a instalação do MATSim, confecção dos arquivos de entrada, substituição dos arquivos nas configurações previamente feitas pelos pesquisadores, simulação e análise dos dados.

5 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como objetivo identificar os requisitos necessários para implementar o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS) para aplicação de um método de simulação computacional baseado em agentes, utilizando a estrutura de código aberto *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim). Com o intuito de obter dados suficientes para agregar a um modelo existente.

A revisão bibliográfica realizada proporcionou uma análise aprofundada da interação entre mobilidade urbana e o conceito de *Mobility as a Service* (MaaS). Ao longo do tempo, as transformações no cenário dos transportes urbanos foram evidenciadas, impulsionando a busca por aprimoramentos na eficiência do deslocamento de pessoas e bens nas áreas urbanas. Nesse contexto, o MaaS surge como uma abordagem inovadora, cujo propósito é a integração e otimização dos diversos modos de transporte disponíveis. Essa integração visa oferecer aos usuários uma solução de mobilidade mais eficiente, conveniente e personalizada, alinhada às demandas contemporâneas.

Assim, a relação intrínseca entre mobilidade urbana e MaaS se destacou como uma resposta adaptativa e moderna aos desafios enfrentados nas cidades. Ao proporcionar uma visão abrangente das evoluções no sistema de transporte, a revisão bibliográfica fortaleceu a compreensão da importância do MaaS na promoção de soluções integradas e sustentáveis.

Para avaliar a compatibilidade e aplicabilidade da estrutura de simulação de tráfego *Multi-Agent Transport Simulation* (MATSim) em relação ao *Mobility as a Service* (MaaS) foram levantadas as seguintes características sobre a sinergia entre essas abordagens: a capacidade de integrar vários modos de transporte, permitindo a simulação de sistemas complexos que incorporam diferentes meios de deslocamento, o que se alinha com o objetivo do MaaS de oferecer uma variedade de opções de transporte integradas, ambos buscam oferecer soluções personalizadas aos usuários, o MATSim permite a modelagem de comportamento individual, enquanto o MaaS visa proporcionar serviços de mobilidade personalizados com base nas preferências e necessidades dos usuários e a capacidade do MATSim de lidar com simulações em grande escala compatível com as demandas do MaaS.

A fim de orientar a aplicação prática de um método destinado à implementação do MaaS utilizando o MATSim, foi detalhado em etapas como seriam coletados os dados e a forma que

seriam utilizados. Primeiro, foi feita a instalação da estrutura de código aberto, a familiarização com a interface gráfica e a compreensão das principais funções. Em seguida, foram verificados os requisitos a serem considerados, como a infraestrutura viária da região, as opções de transporte público, o tempo de viagem e a densidade de tráfego. Foi demonstrado como é elaborado os arquivos essenciais de entrada que substituem os existentes para se adaptarem à região em estudo que foram os de configuração (*config.xml*), da malha viária da região (*networl.xml*) e o planejamento de viagens dos usuários (*plans.xml*).

Esses arquivos foram integrados em código base para aplicação do método está disponível no repositório GitHub, que já tem toda configuração para simular o *Mobility as a Service*. O principal objetivo dos exemplos neste repositório é fornecer exemplos de diferentes cenários de uso para serviços MaaS e torná-los fáceis de acessar em um único lugar, enquanto o código real do otimizador permanece nas contribuições do MATSim.

Um exemplo prático foi apresentado, demonstrando a viabilidade de execução do método proposto. O Rio de Janeiro, foi escolhido para ser área de estudo, visto que regiões da cidade tem alta densidade demográfica e são distantes dos centros urbanos, os dados foram obtidos através do Planejamento De Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS, 2016), onde é apresentado os deslocamentos dos moradores, origens e destinos das viagens, motivo das viagens e modos de transportes utilizados.

A área de estudo foi limitada aos bairros Rocinha e Leblon, onde o principal motivo de deslocamento entre eles é o trajeto de origem na Rocinha para o trabalho no Leblon. As disparidades na densidade demográfica e nas opções de transporte destacam a necessidade de uma mobilidade urbana mais eficiente na Rocinha.

A infraestrutura viária foi organizada, e as variáveis foram delineadas para aprimorar a acessibilidade, eficiência e redução de congestionamentos. Para obter informações cruciais sobre tempo de viagem, frequência e horários de transporte público, recorreu-se ao portal DATA.Rio, que provem uma atualização frequente de dados gerais do município.

A quantidade de agentes foi baseada no limite estabelecido pelo Simunto Via, de 500 agentes, onde 280 realizam o trajeto casa-trabalho, 98 desses optam por transporte público divididos em 37 viajantes que utilizam o ônibus, 4 utilizam o metrô e o restante optem por outro modo de transporte público. Esses 41 viajantes são a base do arquivo de planejamento de viagens (*plans.xml*), podendo ser escalonável para ter resultados mais robustos, essa análise foi feita com a

finalidade de mostrar que existe informações suficientes para aplicar o método, entretanto é necessário a organização das informações.

Essas informações podem ser empregadas de forma independente para uma simulação de tráfego simplificada, sem a interferência de tecnologias ou conceitos emergentes. Nesse contexto isolado, elas produzem um resultado específico para essa finalidade. No entanto, ao serem integradas a um código base que incorpora a estrutura mencionada, essas informações adotam as configurações dessa estrutura, resultando em saídas distintas e mais alinhadas com o escopo abrangente da simulação, que inclui aspectos como mobilidade avançada e serviços personalizados.

Ao apresentar diretrizes sobre a execução desse método, este trabalho orienta futuras pesquisas e implementações práticas da simulação. As informações fornecidas visam contribuir para a construção de sistemas de transporte mais acessíveis, eficientes e sustentáveis em contextos urbanos brasileiros, alinhando-se com as demandas contemporâneas por soluções inovadoras.

Em síntese, este estudo reflete a importância crescente de integrar conceitos avançados de mobilidade, como o MaaS, com ferramentas de simulação robustas, como o MATSim, para promover soluções eficazes e adaptáveis aos desafios complexos enfrentados pelas cidades brasileiras em sua busca por um sistema de transporte urbano mais inteligente e sustentável.

Os dados utilizados foram do ano de 2016, podendo ter mudanças ao longo dos anos, a sensibilidade do método a essas mudanças pode impactar a robustez e a eficácia das conclusões, sendo fundamental considerar a possibilidade de que as condições atuais possam divergir substancialmente daquelas refletidas nos dados originais. Essa limitação ressalta a necessidade de uma avaliação cuidadosa da relevância contínua dos dados ao longo do tempo e a adaptação do método para refletir as condições mais recentes do ambiente em estudo.

Outros destaques importantes de considerar são as características específicas de cada cidade brasileira ao implementar o MaaS, personalizando o método proposto de acordo com as peculiaridades locais.

Essas conclusões refletem a abordagem adotada na pesquisa, considerando tanto os aspectos teóricos quanto os práticos para a implementação bem-sucedida do MaaS mediado pelo MATSim em contextos urbanos brasileiros. Essa análise contribui para a reflexão sobre as potencialidades do MaaS na melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas, como um tema relevante para futuras pesquisas e implementações do método práticas no campo da mobilidade urbana.

REFERÊNCIAS

- ACHARIYAVIRIYA, Witsarut *et al.* Can Space–Time Shifting of Activities and Travels Mitigate Hyper-Congestion in an Emerging Megacity, Bangkok? Effects on Quality of Life and CO2 Emission. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 12, p. 6547, 8 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13126547>.
- AGACHE, Alfred. **Cidade do Rio de Janeiro: Extensão, Remodelação e Embellezamento**. Paris: Foyer Brésilien, 1930. Disponível em: <<https://www.skyscrapercity.com/threads/planosurbanos-do-rio-de-janeiro-plano-agache-1930.1501939/#post-90065361>>. Acesso em: 13 ago. 2021
- AZEREDO, Jeaderson da Silva. **Problema de roteirização dinâmica de veículos: um estudo de caso em uma empresa prestadora de serviços**. 2011. 68f. Dissertação – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/13/2013/04/disserta%C3%A7%C3%A3o_Jeanderson.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021
- BALMER, Michael. **Travel Demand Modeling for Multi-agent Transport Simulations: Algorithms and Systems**. 2007. 176f. Tese de Doutorado - Curso de Ciência da Computação, Instituto Federal de Tecnologia de Zurique. Zurique. Disponível em: <<https://www.researchcollection.ethz.ch/handle/20.500.11850/3815> >. Acesso em: 13 ago. 2021
- BAESSE, Gabriela. Elaboração do plano de mobilidade urbana em Natal/RN, Brasil. **Revista Transporte y Territorio**, [s. l.], v. 0, n. 20, p. 268, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34096/rtt.i20.6392>
- BANISTER, David. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 73-80, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>.
- BATTY, M. *et al.* Smart cities of the future. **The European Physical Journal Special Topics**, [S.L.], v. 214, n. 1, p. 481-518, nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>.
- BECKER, Henrik *et al.* Assessing the welfare impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS). **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 131, p. 228-243, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.027>.
- BELLONE, Mauro; ISMAILOGULLARI, Azat; KANTALA, Tommi; MÄKINEN, Sami; SOE, Ralf-Martin; KYRÖ, Milla Åman. A cross-country comparison of user experience of public autonomous transport. **European Transport Research Review**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-12, 8 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12544-021-00477-3>
- BEZERRA, Barbara Stolte; DOS SANTOS, Ana Laura Lordelo; DELMONICO, Diego V.G.

Unfolding barriers for urban mobility plan in small and medium municipalities – A case study in Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, [s. l.], v. 132, n. January, p. 808–822, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.006>

BICUDO, Davi Guggisberg. **Aplicação do Simulador de Tráfego MATSim à Cidade de Joinville/SC**. 2015. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/166951>>. Acesso em: 05 out. 2021

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm> Acesso em 05 out. 2021

BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil*. 3. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 2015. 350 p.

BUTTON, Kenneth John. **The economics of urban transport**. Alemanha: Farnborough, Hants. : Saxon House, 1977.

CHANDRASEKARAN, Ganesh *et al.* *Mobility as a Service (MaaS): A D2D-Based Information Centric Network Architecture for Edge-Controlled Content Distribution*. **Ieee Access**, [s.l.], v. 6, p.2110-2129, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2017.2781736>. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8171717>>. Acesso em: 22 out. 2021.

ÇOLAK, Serdar; LIMA, Antonio; GONZÁLEZ, Marta C.. Understanding congested travel in urban areas. **Nature Communications**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-12, 15 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms10793>.

CRUZ, Maurício Feijó. **O papel da mobilidade urbana nos superplanos: Plano Urbanístico Básico de São Paulo (1968) e o Plano Doxiadis para o Estado da Guanabara (1965)**. Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo. "X Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Córdoba, Junio 2018". Barcelona: DUOT, 2018. Disponível em <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/132070/06BCN_FeijoCruzMauricio.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 05 out. 2021

DA SILVA, Antônio Nelson Rodrigues; DA SILVA COSTA, Marcela; MACEDO, Márcia Helena. Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil. **Transport Policy**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 350–360, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.12.003>

DOXIADIS ASSOCIATES. *Guanabara, a plan for urban development*. Rio de Janeiro: Companhia Estadual de Águas da Guanabara, 1965. 118p.

- FARINHA, Pedro Miguel Lourenço. **Modelos de Simulação em MATSim aplicados à análise de Sistemas de Transportes**. 2013. 179 f. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em <<https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/3365>> Acesso em 05 out. 2021
- FERNANDES, Edesio; VALENÇA, Mauricio Moraes. **Brasil Urbano**. 2. ed. Rio de Janeiro: Mauad Editora Ltda, 2011. 260 p
- FONTOURA, Wlisses Bonelá; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; RIBEIRO, Glaydston Mattos. A framework for evaluating the dynamic impacts of the Brazilian Urban Mobility Policy for transportation socioeconomic systems: A case study in Rio de Janeiro. **Journal of Simulation**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 316–331, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17477778.2019.1701392>
- FRANCO, Patrizia; *et al.*, Ecaterina. Demand responsive transport: generation of activity patterns from mobile phone network data to support the operation of new mobility services. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 131, p. 244-266, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.038>.
- GALINDO, Ernesto Pereira; LIMA NETO, Vicente Correia. **A mobilidade urbana no Brasil:: percepções de sua população**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019. 62 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9167/1/td_2468.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- GARRISON, William L.; LEVINSON, David M.. **The Transportation Experience: policy, planning, and deployment**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2014. 632 p.
- GOMES, Geovane. **Análise comparativa das características de tráfego calculadas pelo HCM2010 e pelo microssimulador AIMSUN para uma área de estudo em Santa Catarina**. 2015. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/160628/337905.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 out. 2021
- GUIMARÃES, Gabriella Vitorino; GUIMARÃES, Vanessa de Almeida; PEREIRA, Lorena de Freitas; SILVA, Marcelino Aurélio Vieira da; PORTUGAL, Licínio da Silva. Location factors explaining the production of trips by car during sports megaevents: the 2013 confederations cup in rio de janeiro. **Case Studies On Transport Policy**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 1225-1232, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2021.05.014>.
- HENSHER, David A. *et al.* **Understanding Mobility as a Service (MaaS): past, present and future**. Sydney: Elsevier Science, 2020. 204 p.
- HÖRL, Sebastian. Agent-based simulation of autonomous taxi services with dynamic demand responses. **Procedia Computer Science**, [S.L.], v. 109, p. 899-904, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.418>.

HUERTAS, Daniel Monteiro. Empreiteiras, concorrências públicas e mudança da capital federal: o ápice do rodoviarismo brasileiro no plano de metas (1956-61). **História Econômica & História de Empresas**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 547-581, 23 dez. 2022. *Historia Economica e Historia de Empresas*. <http://dx.doi.org/10.29182/hehe.v25i2.832>.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

KAMARGIANNI, Maria et al. A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 14, p. 3294-3303, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.277>.

KIM, Sujan *et al.* What Factors Affect Commuters' Utility of Choosing *Mobility as a Service?* An Empirical Evidence from Seoul. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 16, p. 9324, 19 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13169324>.

KUCHARSKA, Edyta. Dynamic Vehicle Routing Problem—Predictive and Unexpected Customer Availability. **Symmetry**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 546, 15 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/sym11040546>.

LESSA, Daniela Antunes; LOBO, Carlos; CARDOSO, Leandro. Accessibility and urban mobility by bus in Belo Horizonte/Minas Gerais – Brazil. **Journal Of Transport Geography**, [s.l.], v. 77, p.1-10, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.04.004>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692318303910?via%3Dihub>> Acesso em: 20 out. 2021.

LOPES, Artur Costa. A Rodovia Washington Luís e as transformações no espaço de Duque de Caxias. **História, Natureza e Espaço - Revista Eletrônica do Grupo de Pesquisa Niesbf**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 1-19, 1 ago. 2014. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/hne.2013.12117>.

LIMA, Gregório Costa Luz de Souza. **Mobility as a Service na promoção da mobilidade sustentável: o caso do Rio de Janeiro**. 2018. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LUFT, Rosângela M. Planejamento e financiamento da mobilidade urbana na Região Metropolitana Do Rio De Janeiro. **Geo UERJ**, [s. l.], n. 36, p. e48415, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.48415>.

LYONS, Glenn. Getting smart about urban mobility – Aligning the paradigms of smart and sustainable. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 115, p. 4-14, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2016.12.001>.

LYONS, Glenn; HAMMOND, Paul; MACKAY, Kate. The importance of user perspective in the evolution of MaaS. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 121, p. 22-36, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.010>.

MACIEJEWSKI, Michal; BISCHOFF, Joschka. Large-scale Microscopic Simulation of Taxi Services. **Procedia Computer Science**, [S.L.], v. 52, p. 358-364, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.107>.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. Sao Paulo: Atlas, 2003. 310 p.

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, José Alberto; PARRA-LÓPEZ, Eduardo; BARRIENTOS-BÁEZ, Almudena. Young consumers' intention to participate in the sharing economy: An integrated model. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1–22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13010430>

MELO, Ronaldo Ribeiro de; ANDRADE, Maurício Oliveira de; BRASILEIRO, Anísio. *Mobility as a Service: necessidade de regulação e papel dos atores relevantes no contexto brasileiro*. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 32., 2018, Gramado. **Anais...**. Gramado: Anpet, 2018. v. 12, p. 305 - 316. Disponível em: <http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Regulacao%20em%20Transportes/3_263_AC.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021

MENDES, José Teles. O Plano Agache: Propostas para uma cidade-jardim desigual. **Revista Habitus: revista eletrônica dos alunos de graduação em Ciências Sociais - IFCS/UFRJ**, v. 10, n. 2, p.116-127, 2012. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/habitus/article/view/11388>>. Acesso em 05 nov. 2021

MOLINARO, Rafael *et al.* Urban Development Index (UDI): A comparison between the city of Rio de Janeiro and four other global cities. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12030823>

MOTTE-BAUMVOL, Benjamin *et al.* Barriers and (im)mobility in Rio de Janeiro. **Urban Studies**, [S.L.], v. 53, n. 14, p. 2956-2972, 21 jul. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0042098015603290>.

MULLEY, Corinne *et al.* *Mobility as a Service* in community transport in Australia: Can it provide a sustainable future? **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s.l.], set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2019.04.001>.

OPPERMANN, Nívea Maria *et al.* **Sete passos como construir um plano de mobilidade urbana**. São Paulo: Wricidades, 2017. 156 slides, color. Disponível em: <<https://wribrail.org.br/sites/default/files/Sete%20Passos%20->

%20Como%20construir%20um%20Plano%20de%20Mobilidade%20Urbana_jan18.pdf>.
Acesso em: 20 out. 2021.

PAPAGEORGIU, M. *et al.* Review of road traffic control strategies. **Proceedings Of The Ieee**, [S.L.], v. 91, n. 12, p. 2043-2067, dez. 2003. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2003.819610>

PEREIRA, Luiz Andrei Gonçalves; LESSA, Simone Narciso. O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 12, n. 40, p. 26-45, 31 dez. 2011. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg124016414>.

POLYDOROPOULOU, Amalia; PAGONI, Ioanna; TSIRIMPA, Athena; ROUMBOUTSOS, Athena; KAMARGIANNI, Maria; TSOUROS, Ioannis. Prototype business models for Mobility-as-a-Service. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 131, p. 149-162, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.035>.

PROCOPIUCK, Mario; SEGOVIA, Yenifer Ninosca Silva; PROCOPIUCK, Ana Paula Vaz. Urban cycling mobility: management and urban institutional arrangements to support bicycle tourism activities—case study from Curitiba, Brazil. **Transportation**, [s. l.], v. 48, n. 4, p. 2055–2080, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10121-z>

QIAO, Si; YEH, Anthony Gar-On. Mobility-on-demand public transport toward spatial justice: shared mobility or *Mobility as a Service*. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.L.], v. 123, p. 103916, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2023.103916>.

QUDDUS, Mohammed A.; OCHIENG, Washington Y.; NOLAND, Robert B.. Current mapmatching algorithms for transport applications: state-of-the art and future research directions. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 312328, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2007.05.002>.

RAVISH, Roopa; SWAMY, Shanta Ranga. Intelligent Traffic Management: A Review of Challenges, Solutions, and Future Perspectives. **Transport and Telecommunication**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 163–182, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0013>

RIESER, Marcel; DOBLER, Christoph; DUBERNET, Thibaut; GREETHER, Dominik; HORNI, Andreas; LAMMEL, Gregor; WARAICH, Rashid; ZILSKE, Michael; AXHAUSEN, Kay; NAGEL, Kai. MATSim User Guide. 0.6.1. ed. [S.l.], 2014.

ROCHA, Renato Gomes Da. **Os modelos de transportes propostos nos planos diretores para a cidade do Rio de Janeiro**. 1988. 90 f. Monografia (Especialização) - Curso de especialização em planejamento e uso do solo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1988. Disponível em: < <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7787/1/RGRocha-min.pdf> >. Acesso em: 05 out. 2021

RODRIGUES, Beatriz Gomes; BARBOZA, Matheus Henrique Cunha; RIBEIRO, Nanny Caroline Cunha. Obstáculos para desenvolver e estabelecer uma tarifa única para o sistema de

transporte público do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 32., 2018, Gramado. Artigo Científico. Gramado: Sem, 2018. p. 1-12. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Economia%20dos%20Transportes%20II/5_604_AC.pdf> Acesso em: 20 out. 2021.

RODRIGUES, Gabriel Santos *et al.* Assessment of MaaS (Mobility as a Service) Apps in Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. **Advances In Production Management Systems. Artificial Intelligence For Sustainable And Resilient Production Systems**, [S.L.], p. 179-187, 2021. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85914-5_19.

SAHBANI, Bouchra; *et al.*. Effect of network modifications on a french metropolis transportation system by agent-based transport simulations. **2023 8Th International Conference On Models And Technologies For Intelligent Transportation Systems (Mt-Its)**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 0-0, 14 jun. 2023. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/mt-its56129.2023.10241504>.

SANTANA, Bruno Tiago da Silva. **Simulação baseada em agentes para transporte colaborativo utilizando MATSim**. 2015. 61 f. Trabalho de conclusão de curso - Licenciatura em Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13238/1/2015_BrunoTiagodaSilvaSantana.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021

SEGUI-GASCO, Pau *et al.* Simulating a rich ride-share mobility service using agent-based models. **Transportation**, [S.L.], v. 46, n. 6, p. 2041-2062, 12 jun. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11116-019-10012-y>.

SIPE, Niel; POJANI, Dorina. For *Mobility as a Service*(MaaS) to solve our transport woes, some things need to change. **The Conversation**. United State Of America, 18 nov. 2018. Disponível em: <<https://theconversation.com/for-mobility-as-a-service-maas-to-solve-our-transport-woessome-things-need-to-change-105119>>. Acesso em: 20 out. 2021.

SMITH, Göran *et al.* Mobility as a service: comparing developments in sweden and finland. **Research In Transportation Business & Management**, [S.L.], v. 27, p. 36-45, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.09.004>.

SOUSA, Raísa Pereira de. **Uso de um software de simulação computacional baseado em agentes na modelagem de uma rota de transporte público da cidade de Mossoró- RN**. 2019. 64 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Produção, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3585/2/Ra%c3%adsaPS_MONO.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021

SENOZON AG. *Via*. 1.5. ed. Zürich, 2015. Disponível em: <<http://via.senzon.com/>> Acesso em: 05 out. 2021

VIEIRA, Ricardo Luiz de Souza; CARDOSO, Patrícia Alcântara. **Roteirização dinâmica de veículos em centros urbanos: um estudo sobre o uso de bicicletas para o serviço de delivery**.

In: CONGRESSO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 32., 2018, Gramado. Relatório Técnico. Gramado: Sem, 2018. p. 2586 - 2589. Disponível em: <
https://anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Modelos%20de%20Otimizacao%20em%20Transportes/4_83_RT.pdf.
> Acesso em: 20 out. 2021.

VINAYAK, Pragun *et al.* Accounting for multi-dimensional dependencies among decisionmakers within a generalized model framework: An application to understanding shared mobility service usage levels. **Transport Policy**, [s.l.], v. 72, p.129-137, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.09.013>.

VITORINO GUIMARÃES, Gabriella *et al.* Location factors explaining the production of trips by car during sports megaevents: The 2013 Confederations Cup in Rio de Janeiro. **Case Studies on Transport Policy**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 1225–1232, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.05.014>

APÊNDICE A – Arquivo *Network.XML*

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE network SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/network_v2.dtd">
<network>

<!--
=====
= -->

  <nodes>
    <node id="1015735490" x="-5403751.050231642" y="-3142801.4279545457" >
      </node>
    <node id="1015937610" x="-5617039.272515198" y="-3566416.3610664466" >
      </node>
    <node id="1015949189" x="-5620065.114386144" y="-3543359.6576643786" >
      </node>
    <node id="1015949338" x="-5620452.684325291" y="-3533148.101694398" >
      </node>
    <node id="1016008466" x="-5685949.822178921" y="-3670943.555917539" >
      </node>
    <node id="1016008507" x="-5685822.617396791" y="-3670832.4344799635" >
      </node>
    <node id="1016008532" x="-5686050.844616817" y="-3670979.771562298" >
      </node>
    (...)
  <!--
=====
= -->

  <links capperiod="01:00:00" effectivecellsize="7.5" effectivelanewidth="3.75">
    <link id="100009686_0" from="1156290210" to="1329492529"
length="341.09682077876636" freespeed="22.22222222222222" capacity="1500.0"
permlanes="1.0" oneway="1" modes="car" >
      </link>
    <link id="100009687_0" from="1329492529" to="1156294322"
length="73.01117722548813" freespeed="22.22222222222222" capacity="1500.0"
permlanes="1.0" oneway="1" modes="car" >
      </link>
    <link id="100009687_0_r" from="1156294322" to="1329492529"
length="73.01117722548813" freespeed="22.22222222222222" capacity="1500.0"
permlanes="1.0" oneway="1" modes="car" >
      </link>
    (...)
  
```

APÊNDICE B – Arquivo *Config.XML*

```

<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE config SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/config_v2.dtd">
<config>
  <module name="dvrp">
  </module>

  <module name="multiModeTaxi">
    <parameterset type="taxi">
      <param name="destinationKnown" value="false"/>
      <param name="vehicleDiversion" value="false"/>
      <param name="pickupDuration" value="120"/>
      <param name="dropoffDuration" value="60"/>
      <param name="onlineVehicleTracker" value="false"/>

      <param name="taxisFile" value="taxis-25.xml"/>
      <!-- param name="taxisFile" value="taxis-50.xml" / -->

      <param name="timeProfiles" value="true"/>
      <param name="detailedStats" value="true"/>

      <!-- This is an assignement based dispatch algorithm -->
      <parameterset type="AssignmentTaxiOptimizer"/>

      <parameterset type="taxifare"/>
    </parameterset>
  </module>

  <module name="network">
    <param name="inputNetworkFile" value="network.xml"/>
    <!-- param name="timeVariantNetwork" value="false" / if timeVariantNetwork --
  >
    <!-- param name="inputChangeEventsFile" value=""/ if timeVariantNetwork -->
  </module>

  <module name="plans">
    <!-- param name="inputPlansFile" value="plans_only_taxi_1.0.xml.gz" / -->
    <param name="inputPlansFile" value="plans_only_taxi_4.0.xml.gz"/>
  </module>

  <module name="qsim">
    <param name="simStarttimeInterpretation" value="onlyUseStarttime"/>
    <param name="insertingWaitingVehiclesBeforeDrivingVehicles" value="true"/>

```

```

        <param name="snapshotStyle" value="queue"/>
    </module>

    <module name="otfvis">
        <param name="coloringScheme" value="taxicab"/>
        <param name="drawNonMovingItems" value="true"/>
    </module>

    <module name="controler">
        <param name="outputDirectory" value="output/mielec_taxi_assignment"/>
        <param name="overwriteFiles" value="deleteDirectoryIfExists"/>
        <param name="firstIteration" value="0"/>
        <param name="lastIteration" value="0"/>
    </module>

    <module name="planCalcScore">
        <param name="activityType_0" value="dummy"/>
        <param name="activityTypicalDuration_0" value="24:00:00"/>
        <param name="traveling_taxi" value="-6"/>
    </module>

    <module name="strategy">
        <!-- We focus only on DynAgents. "Standard" agents do not change their behaviour
-->
        <param name="maxAgentPlanMemorySize" value="1"/>
        <param name="ModuleProbability_1" value="1.0"/>
        <param name="Module_1" value="KeepLastSelected"/>
    </module>
</config>

```

APÊNDICE C – Arquivo *Plans.XML*

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!DOCTYPE plans SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/plans_v4.dtd">

<plans>

  <person id="1" sex="m" age="20" license="yes" car_avail="always" employed="yes">
    <plan age="0" selected="yes">
      <act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-
3135448.0383012784" start_time="00:00" dur="08:00" end_time="08:00" />
      <leg num="0" mode="car" dep_time="08:00" trav_time="00:30"
arr_time="08:30">
        <route trav_time="00:30">
          3405473994 2640480333 2640480323 2640480320 2488031410
3405463383 3405463384 3405463381 2487956436 2487956420 2487956332 3405463376
3601699473 2640480303 1270152431 2487956513 2640480292 2640480296 3601699472
3405624669 4536377047 4536377048 5345562358 2488031484 2488031482 2640480274
2487956509 3601690305 2487956349 2640480269 2640480271 2487956506 2640480254
2640480258 2640480251 2640480262 2640480247 1684575225 2640480213 2640480225
1270153629 2640480229 1684575208 5344866265 2640480235 2640480183 1030058088
8580794417 8580794423 3601900851 1684752323 3569563094 3140111529 3569577493
2941291627 2941291629 2941291631 2941291632 4537941943 1030058266 2941291636
4537941944 2941291637 2941291638 2941291639 1030057892 3128284168 2941291643
2941291644 1030057663 1030058020 2917872409 2941291645 2941291646 2941291647
2941291648 2944855375 2941291649 1030058262 1028995984 2905105753 2944855377
1030064052 2905105754 2941304997 4545671435 4545671434 2944855383 4545671432
4545671431 2944855387 2944815439 2944815442 2944815443 4538495054 4538495053
2917884381 2944855393 2919514927 2944855395 2919514928 2944855396 2919514929
2944855397 2944855399 2944855401 2944855403 2944855404 2944855405 2944855407
3141147080
        </route>
      </leg>
      <act type="work" link="111496821_10" x="-5410091.930878667" y="-
3140554.0708853225" start_time="08:00" dur="08:00" end_time="24:00" />
      <leg num="1" mode="car" dep_time="16:33" trav_time="00:10"
arr_time="16:43">
        <route trav_time="00:10">
          3141147080 3140111311 3003550879 3003550878 2944855410
2919514932 2919514931 2919514930 2917884388 1270153632 1270153636 2944815446
2944817156 2944817155 2944815444 2944815441 2944815440 2941304999 2942080370
2944817154 2944817153 1030058292 2941291651 2944817152 2944817151 1270153634
2944817150 1684752312 2917884374 1030058493 1030058410 1030058186 4174322486
1030057750 1030058448 1030058244 1030058087 2941291642 2941291640 3927475318
1030058354 1030057693 2941291635 2941291633 2941291630 2941291627 2944855354
1030058184 1030058242 1684752323 3601900851 8580794423 8580794417 1030058088
        </route>
      </leg>
    </plan>
  </person>
</plans>

```

2640480183 2640480235 5344866264 1684575208 2640480229 1270153629 2640480225
2640480213 1684575225 2640480247 2640480262 2640480251 2640480258 2640480254
2487956506 2640480271 2640480269 2487956349 3601690305 2487956509 2640480274
2488031482 2488031484 5345562358 4536377048 4536377047 3405624669 3601699472
2640480296 2640480292 2640480294 3086738662 4310086010 3405473995 3405473994

</route>

</leg>

<act type="home" link="354437140_14" x="-5411564.387179238" y="-
3135448.0383012784" start_time="11:33" dur="08:00" end_time="24:00" />

</plan>

</person>

(...)

</plans>