



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**



VITOR OLIVEIRA ROPKE

OTIMIZAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO EM CIDADES DE MÉDIO PORTE

MOSSORÓ-RN

2024

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo mostra uma ideia geral sobre os problemas da mobilidade urbana e do transporte público, algumas perguntas que serão respondidas em capítulos posteriores, objetivos e como esta pesquisa pretende alcançá-los. Sendo assim, o capítulo divide-se em contextualização, motivação, metodologia de pesquisa e objetivos.

1.1 Contextualização

A mobilidade urbana tem enfrentado sérios problemas nas últimas décadas. Os congestionamentos de veículos são corriqueiros em cidades de médio e grande porte. Estima-se que cerca de 267 bilhões de reais são perdidos, por ano, em consequência direta ou indireta desse problema. Isso é aproximadamente 4% do PIB do Brasil e é provocado por fatores que envolvem a ociosidade (pessoas perdendo tempo no trânsito), o estresse (que impacta a produtividade e o bem-estar da pessoa) e o aumento do consumo de combustível (os veículos permanecem com o motor ligado por mais tempo, contribuindo ainda, para o desgaste prematuro de peças e, assim, para mais prejuízos) (RAMALHO, 2018).

Estima-se que esses problemas se intensifiquem devido ao crescente número de veículos em circulação nas estradas. A média diária de emplacamentos é de cerca de 10 mil unidades por dia (MENDES, 2024). Segundo Transportes (2024), em maio de 2024, foram registrados 121.016.361 veículos no Brasil. Desses, 51,5% são automóveis (62.326.065 unidades), o que gera uma proporção de 1 carro para cada 4 habitantes (AND, 2024).

Outro ponto crítico da mobilidade urbana são os acidentes de trânsito. Segundo Estrela (2023), o Brasil é o 3º país com mais mortes. Em 2022, foram 31.174 óbitos com várias pessoas feridas e com sequelas. Além disso, o Sistema Único de Saúde (SUS) fica onerado com a demanda de acidentados que consomem quase R\$ 3 bilhões dos cofres públicos (CFM, 2019).

Para resolver os problemas de mobilidade urbana, inúmeras soluções foram propostas por profissionais que trabalham com planejamento urbano. Cada solução tem seus desafios, pontos positivos e negativos. Algumas dessas soluções são, construção de novas estradas, ampliação das vias existentes (adição de novas faixas), rodízio de veículos e ampliação do transporte público.

As soluções que trabalham com a ampliação e o desenvolvimento de novas vias, são as mais caras. Elas necessitam de uma nova infraestrutura e desapropriações nas redondezas, necessitando de uma grande logística e indenizações para a população afetada pelas obras (LIBARDONI, 2021). Além disso, a construção de estradas mais largas estimula a compra de veículos individuais (BLUME, 2016).

O rodízio de veículos é uma das soluções mais simples, necessitando apenas de equipamentos de monitoramento para controlar quais condutores estão respeitando, ou não, as regras do rodízio.

A ampliação do transporte público é uma das principais soluções para resolver problemas de mobilidade urbana. Veículos que fazem parte desse transporte, geralmente possuem capacidade muito maior que automóveis e motocicletas. O ônibus é o mais usado devido à lotação que ele proporciona ao transporte público, estando em cerca de 80% da frota de empresas de transporte coletivo nas cidades do Brasil com mais de 60 mil habitantes (BRASIL, 2015).

Porém, em diversas cidades do Brasil, o transporte público apresenta problemas relacionados ao tempo e à disponibilidade. A frequência em que os veículos passam em determinada região estão diretamente ligados ao tempo de espera. Junto a isso, o tempo de viagem também é um fator deficitário no transporte público (MESIANO; SILVA, 2023). Em São Paulo, por exemplo, o tempo médio de viagem é cerca de 2 horas, sendo insustentável para muita gente (OLIVEIRA, 2021). Outro fator importante e também problemático do transporte público, é a transferência entre veículos/rotas que torna o sistema menos atrativo devido à necessidade de desembarcar e embarcar durante a viagem (KEPAPTSOGLOU; KARLAFTIS, 2009).

Portanto, a otimização do transporte público é de extrema importância para mitigar os problemas relacionados à mobilidade urbana, como congestionamentos (o que inclui o aumento do tempo de deslocamento e perda de tempo), poluição sonora e atmosférica, acidentes de trânsito, danos às estradas, prejuízos à saúde causados pelo estresse e inalação de poluentes e, consequentemente, sobrecarga do sistema de saúde.

1.2 Questões de pesquisa

A pesquisa será conduzida pela metodologia Design Science. Ela permite um desenvolvimento mais intuitivo ao estudo, orientando a formulação de perguntas/questões

que, ao fim da pesquisa, deverão ser respondidas. Segundo Wieringa (2014), as questões de pesquisa iniciam-se por uma Questão Geral de Pesquisa (QGP) que pode ser o objetivo geral transformado em uma pergunta, sendo derivadas em, Questões Conceituais de Pesquisa (QCP), Questões Técnicas de Pesquisa (QTP) e Questões Práticas de Pesquisa (QPP), que podem ser análogas aos objetivos específicos.

As QCP questionam sobre conhecimentos necessários para a compreensão do problema. As QTP estão relacionadas à tecnologia e otimização de atividades. As QPP tratam sobre a utilização do que foi produzido, em um contexto específico (WIERINGA, 2014).

A QGP deste estudo é a seguinte:

- Como otimizar uma rede de transporte público em cidades de médio porte?

Essa questão pode ser subdividida em:

- QCP: Que elementos caracterizam o transporte público em cidades de médio porte?
 - QCP1: O que define um transporte público?
 - QCP2: Quais problemáticas estão presentes no transporte público em cidades de médio porte?
- QTP: Quais métodos e/ou estratégias podem ser usadas para melhorar as redes de transporte público?
 - QTP1: Quais estruturas de rede são usadas no transporte público?
 - QTP2: Quais métricas podem ser usadas para quantificar a melhoria do transporte público?
 - QTP3: Quão eficientes são os métodos de otimização e análise quantitativa na proposição de redes de transporte público?
- QPP: Como a otimização do transporte público impactaria o desenvolvimento sustentável das cidades e combate às alterações climáticas?
 - QPP1: Como um transporte público otimizado impactaria o trânsito e a população de uma cidade?
 - QPP2: Como não-usuários do transporte público podem se beneficiar com sua melhoria?
 - QPP3: Como a otimização das redes de transporte público pode contribuir para o desenvolvimento sustentável das cidades?

1.3 Motivação

O direito de ir e vir é fundamental para toda a população. Ele deve ser assegurado para preservar o bem-estar das pessoas e a manutenção de outros direitos, como saúde, educação, lazer, entre outros. Para isso, deve existir um transporte público com qualidade mínima, que chegue a todos os pontos de uma cidade, que possua frequência adequada e que tenha um custo que seja viável para a população usufruir desse direito.

Para o desenvolvimento sustentável, a promoção do transporte público otimizado é de extrema importância. Os automóveis são responsáveis por cerca de 60% das emissões de gases do efeito estufa em relação a outros modos de transporte (EUROPEU, 2019). Então, incentivar o uso do transporte público ajudará no combate às emissões de gases que causam o efeito estufa, provocando uma mudança de hábitos na população que deixará de usar veículos particulares caso o coletivo se torne mais atrativo que esses. Para tal, ele precisa ser otimizado para suprir as necessidades da população, sendo mais barato e mais cômodo, considerando que o usuário não precisará dirigir (BEIRÃO; Sarsfield Cabral, 2007).

Dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da Agenda 2030 da ONU, o transporte público está envolvido, principalmente, nos de número 10 (Redução das desigualdades), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e 13 (Combate às alterações climáticas). Apesar de também estar abrangido em outras ODSs, sua influência nesses citados são mais proeminentes (MACMILLAN *et al.*, 2020). Na ODS 10, o transporte público assegura à população menos favorecida o acesso a atividades que ela deseja, promovendo a redução das desigualdades. Na ODS 11, o transporte público otimizado diminui a necessidade do uso de veículos particulares, favorecendo a diminuição dos congestionamentos, reduzindo, assim, o tempo de deslocamento nas cidades e a emissão de gases poluentes. Com isso, o transporte público na ODS 13 ajuda no combate às alterações climáticas, levando mais pessoas com menos emissões se comparado ao transporte individual. A relação da mobilidade urbana com outras ODSs está na seguinte URL: <<https://www.local2030.org/library/491/Mobilidade-Urbana-e-os-Objetivos-de-Desenvolvimento-Sustentvel.pdf>>.

Por fim, a política de tarifa zero empregada, de forma crescente, em vários municípios no Brasil e no mundo, demandam que o transporte público esteja em boas condições para receber o aumento de fluxo de passageiro (BOCCHINI, 2024). São 103 cidades, no Brasil, que aderiram à tarifa zero (parcial ou total) e algumas tiveram problemas em

acompanhar o aumento da quantidade de usuários (DOURADO, 2023). Uma rede de transporte público otimizada não só reduz o tempo de viagem de passageiros como reduz os custos para manutenção por parte de governos que adotam a tarifa zero (CARRANÇA, 2023).

1.4 Objetivos

Conforme a *Design Science*, os objetivos são categorizados em objetivos das partes interessadas e objetivos de pesquisa (WIERINGA, 2014). A seguir, serão mostrados esses objetivos.

1.4.1 *Objetivos das partes interessadas*

No transporte público, as partes interessadas possuem objetivos conflitantes. Por um lado, os usuários esperam que o transporte público se comporte como um individual, com tempo de espera e deslocamento quase nulos. Para isso, seria necessário muitos veículos coletivos para suprir essa necessidade, tornando o transporte público inviável. Por outro lado, os gestores querem economizar e reduzir custos de operação, diminuindo o número de veículos e fazendo manutenções em períodos mais longos. Isso acaba por deixar os veículos superlotados e sucateados, tornando o sistema menos interessante para a população, que opta por alternativas de maior qualidade.

Sendo assim, é necessário ter um equilíbrio entre as partes interessadas para que o transporte público seja viável financeiramente, enquanto tenha qualidade e seja atrativo.

1.4.2 *Objetivos de pesquisa*

Os objetivos de pesquisa podem ser subdivididos em objetivo geral e específicos. O objetivo geral dessa pesquisa é desenvolver uma estratégia de planejamento para o roteamento de redes de transporte público em cidades de médio porte.

Os objetivos específicos são:

- Pesquisar modelos matemáticos de roteamento de redes já existentes e identificar lacunas.
- Criar um modelo matemático adaptado para o cenário de cidades de médio porte.
- Obter dados reais de um sistema de transporte público em uma cidade de médio

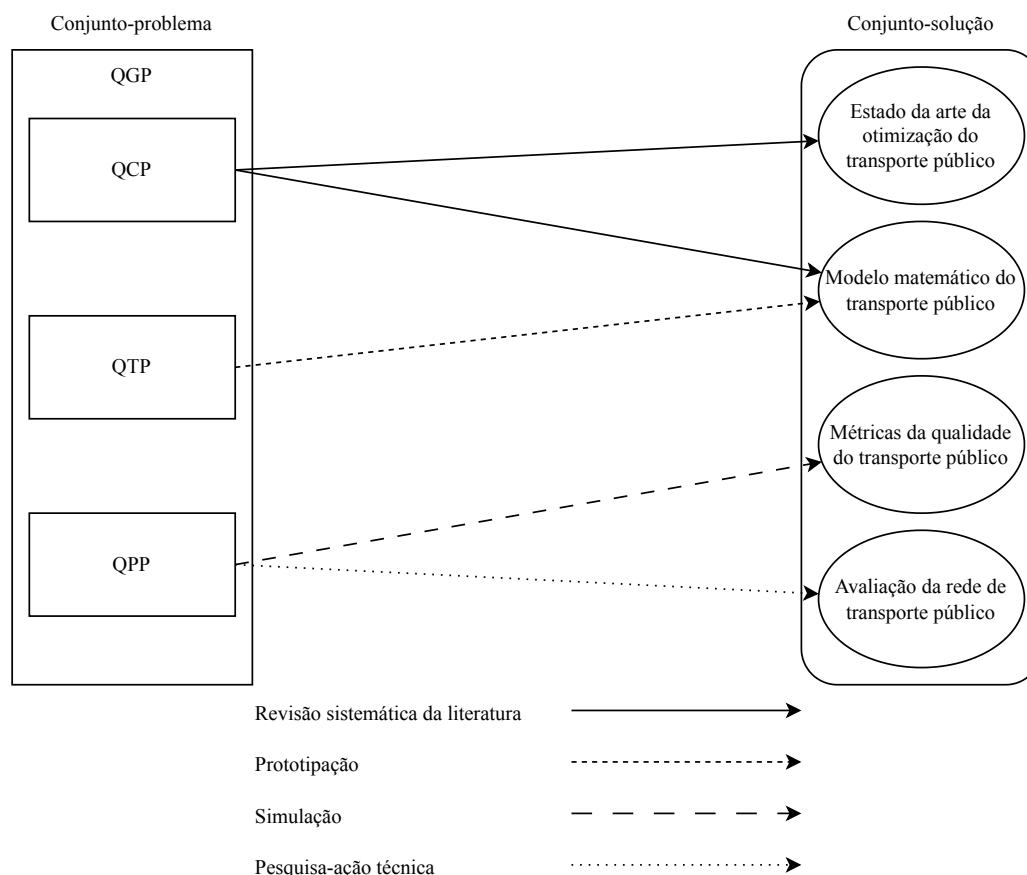
porte para validar o modelo e propor mudanças na rede.

- Diagnosticar as mudanças da rede para definir os novos valores da qualidade do transporte público.

1.5 Metodologia de pesquisa

Cada pesquisa utiliza métodos específicos para definir as questões de pesquisa da *Design Science*, sendo que cada uma destas também emprega um ou mais meios diferentes para chegar às soluções. Desta forma, a metodologia compreende um conjunto de métodos que levarão o conjunto de problemas (formado pelas questões de pesquisa) para um conjunto de soluções (resultado da aplicação de método[s] no[s] problema[s]). Para este estudo, os detalhes da metodologia estão melhor ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Esquema que relaciona o conjunto-problema e conjunto-solução através de métodos, de acordo com a *Design Science*



A revisão sistemática da literatura identificará o que já foi feito em pesquisas anteriores envolvendo a otimização do transporte público. Será dado o foco nos artigos que desenvolveram modelos matemáticos e algoritmos de otimização.

Com a prototipação, será definido o modelo matemático a ser utilizado, onde instâncias com dados reais ou próximos do real serão testadas por algoritmos de otimização.

A simulação obterá as métricas de qualidade do transporte público para as proposições de redes.

A pesquisa ação-técnica avaliará as mudanças propostas na rede de transporte público junto à empresa gestora.

REFERÊNCIAS

- AND, A. N. dos D. **Brasil já tem 1 carro a cada 4 habitantes, diz Denatran**. 2024. Disponível em: <<http://www.and.org.br/brasil-ja-tem-1-carro-a-cada-4-habitantes-diz-denatran/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- BEIRÃO, G.; Sarsfield Cabral, J. Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. **Transport Policy**, v. 14, n. 6, p. 478–489, 2007. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X07000522>>.
- BLUME, B. A. **Como melhorar a mobilidade urbana? Alternativas**. 2016. Disponível em: <<https://www.politize.com.br/alternativas-mobilidade-urbana/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- BOCCHINI, B. **Tarifa zero aumenta número de passageiros, mostra estudo**. 2024. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-04/tarifa-zero-aumenta-numero-de-passageiros-mostra-estudo>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- BRASIL, V. Ônibus. **Como melhorar a mobilidade urbana? Alternativas**. 2015. Disponível em: <<https://www.volvobuses.com.br/news1/blog/informacoes-e-curiosidades/por-que-o-onibus-e-o-veiculo-mais-adequado-para-uma-cidade.html>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- CARRANÇA, T. **Tarifa zero: as lições das 67 cidades do Brasil com ônibus de graça**. 2023. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cy65e4qnjjpo>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- CFM, C. F. de M. **Em dez anos, acidentes de trânsito consomem quase R\$ 3 bilhões do SUS**. 2019. Disponível em: <<https://portal.cfm.org.br/noticias/em-dez-anos-acidentes-de-transito-consumem-quase-r-3-bilhoes-do-sus>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- DOURADO, M. L. **103 cidades do Brasil têm algum tipo de tarifa gratuita de ônibus; veja lista e quem se beneficia**. 2023. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/consumo/103-cidades-do-brasil-tem-algum-tipo-de-tarifa-gratuita-de-onibus-veja-lista-e-quem-se-beneficia/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- ESTRELA, G. **Ranking trágico: Brasil é 3º país que mais registra mortes no trânsito**. 2023. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/brasil/ranking-tragico-brasil-e-3o-pais-que-mais-registra-mortes-no-transito>>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- EUROPEU, P. **Emissões de dióxido de carbono nos carros: factos e números (infografia)**. 2019. Disponível em: <<https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20190313STO31218/emissoes-de-co2-dos-carros-factos-e-numeros-infografias>>. Acesso em: 01 jul. 2024.
- KEPAPTSOGLU, K.; KARLAFTIS, M. Transit route network design problem: Review. **Journal of Transportation Engineering**, v. 135, n. 8, p. 491–505, 2009. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-947X%282009%29135%3A8%28491%29%29>>.

LIBARDONI, V. **Mais estradas, mais problemas: como solucionar o problema do trânsito nas grandes cidades.** 2021.

Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/958254/mais-estradas-mais-problemas-como-solucionar-o-problema-do-transito-nas-grandes-cidades>>. Acesso em: 02 jul. 2024.

MACMILLAN, A.; SMITH, M.; WITTEN, K.; WOODWARD, A.; HOSKING, J.; WILD, K.; FIELD, A. Suburb-level changes for active transport to meet the sdgs: Causal theory and a new zealand case study. **Science of The Total Environment**, v. 714, p. 136678, 2020. ISSN 0048-9697. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720301881>>.

MENDES, D. **Produção de veículos no Brasil avança 13,5% em um mês, mostra Anfavea em levantamento de abril.** 2024. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/producao-de-veiculos-no-brasil-avanca-135-em-um-mes-diz-anfavea/>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MESIANO, B.; SILVA, B. **Reduzir tarifa e tempo de espera incentivaria uso de transporte público, aponta estudo da CNI.** 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/reduzir-tarifa-e-tempo-de-espera-incentivaria-uso-de-transporte-publico-aponta-estudo-da-cni/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.

OLIVEIRA, M. **8 dados mostram o impacto da mobilidade urbana nas nossas vidas.** 2021. Disponível em: <<https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/dia-a-dia/8-dados-mostram-o-impacto-da-mobilidade-urbana-nas-nossas-vidas/>>. Acesso em: 02 jul. 2024.

RAMALHO, G. **Brasil perde R\$ 267 bilhões por ano com congestionamentos.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/globonews/noticia/2018/08/07/brasil-perde-r-267-bi-por-ano-com-congestionamentos.ghtml>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

TRANSPORTES, M. dos. **Frota de Veículos - 2024.** 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

WIERINGA, R. **Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering.** [S.l.: s.n.], 2014. 1-332 p. ISBN 978-3-662-43838-1.