

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO TEBECHERANI MORENO

**AVALIAÇÃO POR SIMULAÇÃO DO IMPACTO DE “CRUISING FOR PARKING”
NO TRÁFEGO URBANO DE CURITIBA**

CURITIBA

2023

BRUNO TEBECHERANI MORENO

**AVALIAÇÃO POR SIMULAÇÃO DO IMPACTO DE “CRUISING FOR PARKING”
NO TRÁFEGO URBANO DE CURITIBA**

**Evaluating the Impact of Cruising for Parking on Curitiba Urban Traffic by
Simulation**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lüders

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



BRUNO TEBECHERANI MORENO

AVALIAÇÃO POR SIMULAÇÃO DO IMPACTO DE "CRUISING FOR PARKING" NO TRÁFEGO URBANO DE CURITIBA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia De Computação.

Data de aprovação: 15 de Agosto de 2023

Dr. Ricardo Luders, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Keiko Veronica Ono Fonseca, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Semida Silveira, Doutorado - Cornell University

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/08/2023.

Dedico este trabalho à minha namorada que
sempre acreditou em meu potencial e aos
meus pais que me possibilitaram seguir este
caminho.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Lüders, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

A Capes que concretizou um enorme passo de meu futuro.

Ao Projeto *Smart City Concepts in Curitiba* pela oportunidade de desenvolver meu conhecimento.

Ao Francisco Malucelli por me tutorear nos caminhos do Software PTV Vissim.

A PTV Vissim por disponibilizar *thesis license* que possibilitou o sucesso desta pesquisa.

A Giovanna dos Santos Andrade que me apoiou e me motivou em todos os anos de pesquisa.

Aos meus pais e avós que me deram além de muito amor, uma educação sem igual.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

"Suppose curb parking is free but all the spaces are occupied, so you have to cruise until you find a space being vacated by a departing car. Off-street parking is available but you have to pay the market price for it. How do you decide whether to cruise or to pay?"
Citação de Donald Shoup em(SHOUP, 2006)

RESUMO

Recentemente, o termo “smart city” tem recebido atenção de grupos de pesquisa de diferentes áreas. Na Computação, as tecnologias de informação e comunicação têm sido usadas para avaliar diferentes aspectos da vida nas cidades. Particularmente, a mobilidade inteligente procura implementar ações para oferecer melhores serviços de deslocamento na cidade usando dados do ambiente urbano. O “cruising for parking” é um fenômeno causado pela procura de vagas de estacionamento em áreas urbanas. Trabalhos da literatura mostram que esse fenômeno varia ao longo do dia e corresponde a cerca de 13% a 20% do tráfego de uma cidade. Esta dissertação de mestrado avalia por simulação os efeitos de “cruising for parking” no tráfego urbano de Curitiba. Para tanto, um modelo de simulação é desenvolvido no pacote comercial de simulação de tráfego PTV VISSIM, incluindo um algoritmo proposto de procura por vagas. Parte deste modelo foi concebido preliminarmente pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). Os resultados mostram impactos no atraso de viagem, velocidade média e número de paradas dos veículos para diferentes cenários caracterizados pelo número de veículos que procuram por vagas em relação ao fluxo normal de veículos. Estes resultados podem ser utilizados por gestores públicos no planejamento de vagas de estacionamento na área urbana.

Palavras-chave: cruising for parking; simulação de tráfego; computação urbana; sustentabilidade; cidade inteligente.

ABSTRACT

Recently, the term smart city has received attention from different research groups. In Computing, information and communication technologies have been used to evaluate various aspects of city life. Particularly, smart mobility seeks to implement actions to offer better commuting services in the city using data from the urban environment. Cruising for parking is a phenomenon caused by the search for parking spaces in urban areas. Studies in the literature show that this phenomenon varies throughout the day and corresponds to about 13% to 20% of a city's traffic. This master's thesis evaluates the effects of cruising for parking on urban traffic in Curitiba by simulation. A simulation model is developed in the commercial traffic simulation package PTV VISSIM, including a proposed parking algorithm. The Institute of Research and Urban Planning of Curitiba (IPPUC) previously conceived part of this model. The results show impacts on trip delay, average speed, and number of vehicle stops for different scenarios characterized by the number of vehicles looking for parking in relation to the normal flow of vehicles. Public managers can use these results in the planning of parking spaces of urban areas.

Keywords: cruising for parking; traffic simulation; urban computing; sustainability; smart city.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Região central de Curitiba considerada na simulação.	22
Figura 2 – Posicionamento das vagas de estacionamento em azul.	24
Figura 3 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 2 minutos das vagas de estacionamento.	27
Figura 4 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 15 minutos das vagas de estacionamento.	28
Figura 5 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 30 minutos das vagas de estacionamento.	28
Figura 6 – Caracterização dos Cenários 1 a 9, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME	30
Figura 7 – Caracterização dos Cenários 10 a 18, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME	31
Figura 8 – Caracterização dos Cenários 19 a 27, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME	31
Figura 9 – Quantidade média de veículos na rede.	33
Figura 10 – Distância total percorrida pelos veículos em cada cenário.	34
Figura 11 – Razão $\text{var}(\text{VPARK})/\text{var}(\text{VNORM})$ com $\text{var} \in \{\text{atraso, paradas, velocidade}\}$ para cada cenário.	35
Figura 12 – Quantidade média de paradas, classificadas por VPARK e VNORM	36
Figura 13 – Atraso médio, paradas, velocidade média e quantidade de veículos acumulados em relação ao cenário base 0 por grupo de cenários.	37
Figura 14 – Mapa de calor do atraso médio relativo ao fluxo livre de veículos de uma área selecionada dos cenários 1, 2, 3, 14, 0, 6, 23, 27 e 9, numerados sequencialmente da esquerda para direita e de cima para baixo.	38
Figura 15 – Rota de exemplo de volta na quadra	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Referencial teórico escolhido a partir das palavras chaves	18
Tabela 2 – Número de vagas de estacionamento na região considerada	23
Tabela 3 – Número médio de veículos na rede e número de veículos com rota completa nos cenários 0 a 27.	29
Tabela 4 – Número médio de veículos na rede e número de veículos com rota completa nos cenários 0 a 27.	32
Tabela 5 – Resultados de tráfego para os diferentes cenários simulados.	34
Tabela 6 – Grupos de cenários definidos com base no parâmetro comum.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivos específicos	13
1.3	Justificativa e Contribuições	14
1.4	Estrutura da Dissertação	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Teoria de Fluxo de Tráfego	16
2.2	Simulação de Tráfego de Veículos	17
2.3	Trabalhos relacionados	18
2.4	Sumário do Capítulo	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	Modelo de Simulação do IPPUC	22
3.2	Simulação do Estacionamento de Veículos	23
3.2.1	Classes de Veículos	24
3.2.2	Rotas de estacionamento	25
3.2.3	Tempo de Estacionamento	26
3.3	Sumário do Capítulo	26
4	RESULTADOS	27
4.1	Configuração de Parâmetros	27
4.2	Definição dos Cenários	29
4.3	Resultados de Simulação por Cenário	32
4.4	Resultados de Simulação por Agrupamento de Cenários	35
4.5	Sumário do Capítulo	40
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Cidade Inteligente ou *Smart City* é definida por (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015) como um conceito abstrato. O objetivo de definir a cidade como inteligente é caracterizar direções e noções estratégicas para Governos e agências públicas, capacitando-os à tomada de decisões para o desenvolvimento sustentável, o crescimento econômico e a melhora na qualidade de vida de seus cidadãos. Por meio de uma perspectiva evolucionária, quatro concepções ou filosofias de *smart city* são apresentadas em (KUMMITHA; CRUTZEN, 2017), denominadas restritiva, reflexiva, racional ou pragmática e crítica. Todas essas concepções podem ser categorizadas de acordo com dois principais objetivos: i) foco no desenvolvimento tecnológico; ii) foco no desenvolvimento humano.

A concepção Restritiva enfatiza totalmente no desenvolvimento tecnológico. Neste caso, a evolução tecnológica é necessária e a evolução humana deve se adaptar a ela. A filosofia Reflexiva assemelha-se ao método restritivo, divergindo apenas na ideia de que o homem é o beneficiário primário de uma *smart city*. Neste sentido, a filosofia Reflexiva dispõe de diversos recursos que buscam um aprimoramento na vida dos cidadãos.

A filosofia Pragmática ou Racional está ligada à evolução humana em conjunto com o desenvolvimento tecnológico, ou seja, preparar o ser humano para receber os avanços tecnológicos é tão necessário quanto desenvolvê-los. Esta filosofia entende que uma cidade inteligente precisa ser algo dinâmico, acessível e de fácil utilização, englobando as mais diversas classes sociais da cidade e melhorando a qualidade de vida de seus cidadãos.

A crítica, por fim, expõe uma oposição a toda a ideia de *smart cities*. Para àqueles que apoiam esta filosofia, afirmam que *smart cities* são um contexto utópico que apenas trará mais desigualdade à população. A desigualdade fica expressa a partir de tecnologias acessadas apenas por um grupo específico da cidade, afastando a população e o desenvolvimento urbano de uma cidade inteligente.

Esta dissertação tem por base a concepção pragmática de cidade inteligente, na qual uma cidade inteligente pode ser classificada. A classificação, apesar de não oficial, desenvolve competitividade entre cidades, motivando-as a uma evolução direcionada e objetiva de acordo com 6 características principais (GIFFINGER; GUDRUN, 2010).

- *Smart Government*;
- *Smart People*;
- *Smart Living*;
- *Smart Environment*;
- *Smart Economy*;
- *Smart Mobility*.

Na dimensão *Smart Mobility*, o poder público desempenha, por exemplo, um papel fundamental ao impor restrições ao tráfego de veículos em regiões de maior fluxo. O objetivo é reduzir os efeitos dos congestionamentos, dificuldade de locomoção, lotação das áreas de estacionamento, dentre outros efeitos. Recentemente, tem-se observado uma perturbação no tráfego urbano devido à procura de vagas de estacionamento em áreas delimitadas da via pública. Esta perturbação é decorrente de ações tais como a redução da velocidade do veículo e a movimentação em percursos cíclicos ao redor da região de estacionamento que dificultam a movimentação dos demais veículos da rua. O efeito causado pela procura de vagas de estacionamento é conhecido na literatura como *cruising for parking*.

O fenômeno de *cruising for parking* é descrito em (SHOUP, 2006) como um agravamento do congestionamento em vias urbanas devido ao tráfego gerado por veículos que procuram por vagas de estacionamento na rua. Segundo (SHOUP, 2006), o fenômeno de *cruising for parking* causa de 8% a 74% do congestionamento na via, com média de 30%. Nos estudos mais recentes de (HAMPSHIRE; SHOUP, 2018), a média de 30% do congestionamento causado pelo *cruising for parking* é confirmada, sendo que 8 minutos são gastos em média na procura por vagas.

Neste contexto, esta dissertação avalia o efeito de *cruising for parking* para uma região central da cidade de Curitiba usando um simulador comercial de tráfego de veículos. Espera-se com esta avaliação, identificar os impactos deste fenômeno não apenas no trânsito, mas também para os usuários em termos de atraso no tempo de viagem e deslocamento de maiores distâncias de deslocamento.

1.1 Objetivo geral

Compreender as consequências do fenômeno de *cruising for parking* em relação ao congestionamento gerado na cidade de Curitiba. A análise de congestionamento é baseada no atraso de médio dos veículos em relação ao fluxo livre de veículos, quantidade de paradas forçadas e a redução da velocidade dos veículos. O objetivo é obter resultados de simulação que demonstrem a gravidade do *cruising for parking* na vida cotidiana dos cidadãos e sua extensão para regiões vizinhas ao fenômeno.

A simulação é uma ferramenta poderosa para a tomada de decisão do Poder Público. Tendo conhecimento das causas do atraso e congestionamento nas vias por veículos que buscam vagas de estacionamento, podem-se definir políticas públicas e apontar soluções de *smart parking* para vícios típicos dos motoristas, como a "volta na quadra", por exemplo.

1.2 Objetivos específicos

Na avaliação do efeito de *cruising for parking*, os seguintes objetivos específicos são considerados:

- Desenvolver um modelo de simulação de tráfego no pacote PTV-VISSIM ¹ a partir de um estudo inicial do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IP-PUC) ²;
- Representar a ação de “volta na quadra” através de um algoritmo de procura a ser implementado no modelo de simulação;
- Identificar o congestionamento na rede simulada através dos valores médios de atraso de viagem, velocidade média e quantidade de paradas;
- Identificar a influência no aumento do congestionamento em relação à quantidade de veículos que procuram por vagas e o tempo médio em que ficam estacionados;
- Verificar a influência de *cruising for parking* no congestionamento de áreas vizinhas;
- Sugerir políticas públicas de enfrentamento do problema de *cruising for parking*.

1.3 Justificativa e Contribuições

A avaliação do *cruising for parking* é normalmente realizada por simulação de tráfego de veículos em uma determinada rede viária. Apesar dos resultados serem específicos para essa região, alguma generalização pode ser obtida pela avaliação de parâmetros que influenciam o resultado. Assim, políticas públicas podem ser implementadas para minimizar este efeito, através da imposição de protocolos para o posicionamento das vagas de estacionamento, controle tarifário de regiões ou períodos de tempo, implementação de tecnologias ou restrição da circulação de veículos em determinadas áreas.

As principais contribuições desta dissertação são: i) simulação do tráfego de veículos em uma região central de Curitiba, com veículos estacionando em vagas localizadas nas vias públicas; ii) avaliação do efeito de *cruising for parking* em diferentes cenários, que consideram diferentes porcentagens de veículos que desejam estacionar e por quanto tempo; iii) definição de um algoritmo de procura por vagas, com circulação em torno dos quarteirões; iv) avaliação da propagação do efeito de *cruising for parking* em vizinhanças de uma via.

Parte dos resultados desta dissertação foram publicados em (TEBECHERANI; MALUCELLI; LÜDERS, 2023):

TEBECHERANI, B.; MALUCELLI, F.; LÜDERS, R. Um modelo de simulação de tráfego para avaliação do efeito de “cruising for parking” na região central de Curitiba. In: Anais do VII Workshop de Computação Urbana. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 29–39.

¹ <https://www.mypvt.com/en/mobility-software/ptv-vissim>

² <https://www.ippuc.org.br/>

1.4 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 2 apresenta conceitos básicos de simulação e os trabalhos relacionados. O modelo de simulação proposto e a metodologia de modelagem são mostrados no Capítulo 3. O Capítulo 4 contém os resultados da simulação, sendo que a conclusão é apresentada no Capítulo 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta na Seção 2.1 os conceitos envolvidos na teoria de fluxo de tráfego. A Seção 2.2 contém os principais conceitos utilizados no desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego urbano. A Seção 2.3 traz uma revisão bibliográfica da literatura, destacando os principais trabalhos relacionados.

2.1 Teoria de Fluxo de Tráfego

O tráfego pode ser analisado de forma unidirecional em modelos Macroscópicos e Microscópicos ou em rede de maneira Mesoscópica. Os fenômenos de tráfego são analisados macroscopicamente quando são tratados como tráfego de alta densidade. Nesta abordagem, em (MOREIRA *et al.*, 2005), o autor descreve que o fluxo (q) de veículos como a quantidade de veículos que passam em uma determinada área por uma medida de tempo. Além disto retrata que pode-se obter o valor do fluxo através da concentração (k) de veículos e suas velocidade média (v), conforme descrito em 1:

$$q = k \cdot v \quad (1)$$

O fluxo de veículos, traz seus valores baseado na quantidade de veículos por unidade de tempo, por padrão, número de veículos por hora (Ve/h). A concentração de veículos é o número de veículos por unidade de comprimento em uma corrente de tráfego. Por fim, a velocidade média é a velocidade média do veículo.

Um conceito importante que surge a partir dos parâmetros base de tráfego são as "ondas de choque". A onda de choque é definida em (MOREIRA *et al.*, 2005) como propagação de interrupções decorrentes de uma mudança na concentração e fluxo de veículos. Esta onda de choque se agrava quando o fluxo de veículo é superior à capacidade da via. Em resumo, diante a um aumento brusco na concentração de veículos, mantendo o fluxo, ocasiona uma sobrecarga da via.

A abordagem Mesoscópica não possui a capacidade de distinguir cada veículo separadamente. Nesta abordagem, a ideia de análise de pelotão de veículos (conjunto de veículos que entram e saem de movimento por um obstáculo em comum) é introduzida.

Por fim, temos a abordagem Microscópica. Esta abordagem apropria-se das leis de sequência (*Car-Following*), ou seja, modela o movimento de cada veículo da rede. Este modelo baseia-se ainda na hipótese que cada veículo segue outro que está adiante, conforme a lei de Estímulo-Resposta.

2.2 Simulação de Tráfego de Veículos

A simulação de tráfego é muito utilizada para acompanhar o aumento proporcional da oferta de serviços de transporte e propor soluções eficientes para suprir a falta de infraestrutura em vias. Conforme lembrado em (MOREIRA *et al.*, 2005), a simulação tem o objetivo de estimar os parâmetros de operação de um sistema estudado com base no fluxo teórico de tráfego.

Assim, as simulações são abordadas de forma Macroscópica, Mesoscópica e Microscópica. Os modelos de macrossimulação tratam o tráfego como um fluxo contínuo, com parâmetros médio e constante durante toda a simulação. Nas mesossimulações, diversifica-se o deslocamento de tráfego por pelotões de carros. Por fim, na microssimulação temos cada veículo atuando por si só, com sua própria posição, velocidade e aceleração conhecida. O modelo de microssimulação procura se aproximar ao máximo de um cenário real e presenciado no cotidiano de nossas vidas.

Atualmente, o número de softwares para simulação de tráfego é extenso. Entretanto, (P.E.; MILAM; STANEK, 2003) seleciona três principais softwares: CORSIM, PARAMICS e VISSIM, para avaliar os requisitos para configuração, esforço utilizado para modelagem da simulação e assertividade dos resultados. Destaca-se também o pacote *open source* de simulação de tráfego SUMO ¹

Durante a configuração dos modelos de simulação nos pacotes CORSIM, PARAMICS e VISSIM, pode-se perceber que o tempo gasto foi muito parecido. No entanto, os softwares PARAMICS e VISSIM apresentaram uma maior quantidade de parâmetros de entrada, garantindo uma maior acurácia para os modelos quando comparados ao CORSIM.

Por exemplo, na simulação desenvolvida por (MOREIRA *et al.*, 2005), foi utilizado o software CORSIM, devido principalmente à facilidade e agilidade em montar a rede de entrada e ajustar os parâmetros. Em sua tese, ao comparar outros softwares de simulação, foi apontado que o pacote de software PTV VISSIM ² adequou-se melhor ao representar a interação entre vias urbanas e vias expressas para situações de alto fluxo.

O software VISSIM, utilizado nesta dissertação para o estudo do efeito de *cruising for parking*, destaca-se por permitir, através de microssimulação, a avaliação do nível de serviço das vias, dos planos semaforicos, geração de dados de velocidade média, tempo de congestionamento da via e aceleração média.

Para tanto, exploram-se as funcionalidades de modelagem dispostas na ferramenta de microssimulação. Inicialmente, deve-se representar a via urbana através de *links*. O conjunto de *links* resultará na rede de vias urbanas. Note que a simulação deve retratar fielmente a situação real. Portanto, se a via urbana possui quatro faixas de rolamento, o *link* será implementado com as mesmas quatro faixas.

¹ <https://sumo.dlr.de>

² <https://www.myptv.com/en/mobility-software/ptv-vissim>

No desenvolvimento de um modelo de microssimulação de tráfego, é necessário detalhar as políticas de tráfego. Ou seja, é necessário definir semáforos para priorizar a passagem de veículos com os respectivos tempos de espera, as vias preferenciais para resolver conflitos no tráfego, áreas de mudança na velocidade permitida das vias, assim como definir as vagas de estacionamento nas vias públicas, dentre outros. Em seguida, é necessário escolher os tipos de veículos a serem simulados. Os tipos de veículos, definem classes de veículos sujeitos a determinadas regras e características. Por exemplo, uma classe de veículos movidos a diesel pode ser composta de caminhões, caminhonetes e ônibus. Finalmente, o modelo de microssimulação deve conter as entradas (VIN) e saídas (VOUT) do fluxo de veículos, assim como as rotas que cada veículo percorre na rede viária, podendo ser estáticas, parciais ou de estacionamento.

2.3 Trabalhos relacionados

Os trabalhos relacionados desta seção foram selecionados a partir das seguintes palavras-chaves: *cruising for parking*, *roadside parking*, *simulation*, *smart-cities*, *smart-mobility* e *emissions*. Este levantamento obteve um total de 67 documentos, detalhados na Tabela 1. Destacam-se trabalhos mais relevantes para esta dissertação, contendo assuntos relacionados à simulação de tráfego (macro e micro), aspectos comportamentais na condução dos veículos em busca de vagas de estacionamento e trabalhos relacionados diretamente ao efeito de *cruising for parking*.

Tabela 1 – Referencial teórico escolhido a partir das palavras chaves

Palavra-chave	Quantidade de documentos
Simulação	23
<i>Smart-cities</i>	14
<i>Cruising for parking</i>	30

Em (SHOUP, 2006), apresenta-se um exemplo de implementação de políticas econômicas durante a taxação de vagas de estacionamento. No artigo, é demonstrado que ao controlar as tarifas de *on-street parking* pode-se minimizar os efeitos de *cruising for parking*. Quando tarifado de maneira correta, pode aumentar em até 12,5% as vagas disponíveis.

No estudo mostrado em (MADUSHANKA; JAYARATNE; PASINDU, 2020), uma microssimulação de tráfego no software PTV VISSIM é realizada para avaliar o impacto gerado através de *cruising for parking* no Sri-Lanka. Neste artigo, o estudo é desenvolvido em uma avenida principal da capital que contém vagas de estacionamento públicas e paralelas à via. A metodologia de pesquisa utilizada baseia-se na coleta de dados seguida da calibração e validação do modelo de simulação.

Durante a coleta de dados enfatiza-se a análise do fluxo de veículos, velocidade, movimentação para estacionar e parâmetros geométricos de tráfego referentes ao local. Para o desenvolvimento do modelo de simulação, o autor optou pela utilização do software PTV VIS-

SIM onde desenvolveu uma única via urbana de pista dupla com 11 vagas de estacionamento à disposição.

A análise de interferência de *cruising for parking* foi direcionada para verificar a capacidade de faixa de rodagem (C). A capacidade da faixa, é realizada através de uma equação de regressão linear, relacionando Capacidade de faixa e demanda de estacionamento (Pk), resultando em 2

$$C = 227 - 1,5 \cdot Pk \quad (2)$$

Outra perspectiva desenvolvida em (LOPEZ *et al.*, 2019), é o *cruising for parking* gerado por veículos de carga e descarga (caminhões e veículos utilitários leves) é considerada. Também realizado um modelo de simulação no PTV VISSIM, utiliza-se da identificação de rotas e nível de atratividade de vagas de estacionamento. Um aspecto importante desse estudo é considerar o estacionamento em "faixa dupla". Neste caso, optar por "estacionar" na faixa de rodagem, de maneira ilegal, quando não há vagas disponíveis, é um hábito que impacta negativamente o tráfego nas vias.

No estudo foi introduzida a ideia de modelo de disponibilidade de vaga de estacionamento. No modelo de Bernoulli (3), $\alpha - 1$ é o número de falhas nas tentativas de Bernoulli até um sucesso e p é a probabilidade de encontrar uma área de carga e descarga livre.

$$P(\alpha) = (1 - p)^{\alpha-1} \cdot p \quad (3)$$

O trabalho desenvolvido em (LOPEZ *et al.*, 2019) pode identificar que, em média, a probabilidade dos veículos se locomover mais de 400 metros em busca de um local para estacionar é menor que 20% dos casos.

Na análise da simulação microscópica de (GU *et al.*, 2021) do tráfego urbano, considerando veículos que estacionam em vagas paralelas à via, replica alguns vícios de estacionamento dos motoristas. Os autores modelam o Algoritmo 1, que demonstra como os veículos tratam a escolha de vagas quando não encontram a desejada.

Algoritmo 1 – Algoritmo utilizado para busca de vagas

- 1: *MotoristaProcurandoVaga* = 0 // veículo procurando vaga
- 2: *CarroEstacionou* = 0
- 3: **se** Vaga disponível **então**
- 4: *CarroEstacionou* = 1 // conta tempo de estacionamento
- 5: *MotoristaProcurandoVaga* = 1 // Motorista segue viagem
- 6: **senão, se** Busca outra vaga aleatoriamente **então**
- 7: *CarroEstacionou* = 1 // conta tempo de estacionamento
- 8: *MotoristaProcurandoVaga* = 1 // veículo procurando vaga
- 9: **finaliza se**

Além disto concluem que é relevante considerar o comportamento particular de cada veículo que procura por vaga, pois cada um trafega em velocidade diferente aos demais veículos e utiliza táticas para buscar vagas próximas aos pontos de interesse.

Momentaneamente (NAJMI *et al.*, 2021) propõe através da simulação com *Agent-Based Model (ABM)* simular o comportamento de motoristas ao estacionar durante a rotina de trabalho. Denota-se o comportamento de cada motorista através de parâmetros como a disponibilidade de vagas, preço do estacionamento, distância (Vaga x Local de destino) e tempo de procura. Todavia, seu trabalho tem como objetivo principal disponibilizar alternativas de gestão da demanda de tráfego através de preços para estacionar em vagas públicas

Contudo a simulação de (BENENSON; MARTENS; BIRFIR, 2008) parte de uma aplicação GIS (*Geographic Information System*), cuja função é simular o comportamento de cada condutor através de um *ABM*, nomeado, pelo autor, como "*PARKAGENT*". Neste modelo, o "*PARKAGENT*" toma decisões como a de um motorista que busca a melhor vaga, mais próxima, mais barata e de fácil acesso. Além disto, o estudo é alimentado com dados provenientes de pesquisas realizadas nos anos de 2005 e 2006 e mostra a relação entre o ocupante da vaga de estacionamento com morador próximo ou visitante.

Em outro aspecto, desviando do objetivo central de desenvolvimento de *smart mobility*, foi verificado em (PAIDI *et al.*, 2022) que estudar e solucionar *cruising for parking* é um meio de munir Poderes Públicos com noções e estratégias sustentáveis para a cidade. Tendo isto em vista, o autor traz para sua pesquisa o estudo em campo. Auxiliado de uma câmera térmica, ele avalia as emissões de CO_2 de veículos buscando vagas em um estacionamento privado. Apesar de limitado por ser uma zona pequena e com vias inteiramente focadas para o estacionamento, não deixa de demonstrar a vantagem existente em premeditar o local em que irá estacionar.

Em (SUI *et al.*, 2022), foi modelado no software PTV VISSIM uma simulação com a proposta de avaliar o efeito de veículos procurando por vagas no tráfego normal de veículos e na emissão de CO_2 . A coleta de dados foi realizada na cidade chinesa de Liampó, através de dados de GPS dos veículos e imagens de câmeras. Destes dados é relevante citar que as horas de pico registradas, são entre Às 16:00 e 19:00 e o tempo médio em que os veículos se mantém dirigindo é de 6,04 minutos, numa velocidade média de 13,53 km/h.

Após o desenvolvimento, calibração e validação do modelo de simulação demonstrado em (SUI *et al.*, 2022), a autora desenvolveu 5 cenários, afóra de seu cenário básico, que variam a porcentagem de veículos buscando vagas de estacionamento. Iniciando em 0%, os demais cenários levantam valores de 5%, 10%, 15%, 30% e 50%. Estes cenários explicitam, em uma única interseção, os resultados de comprimento médio de fila de veículos gerado, comprimento máximo, fluxo de veículos médio, atraso médio dos veículos e quantidade média de paradas.

Nos cenários de 30% e 50% de veículos buscando vagas de estacionamento, a emissão de monóxido de carbono (CO) é muito elevada, atingindo quase o dobro de emissões em um cenário sem veículos buscando vagas. Proporcionalmente o atraso médio, comprimento de fila de veículos e média de paradas aumentam, conseqüentemente, o volume de veículos possui uma queda.

Por fim, representando uma modelagem de simulação macroscópica voltada à um possível futuro problema de veículos autônomos, temos o artigo (ZHAO *et al.*, 2021). O modelo de

simulação é construído no software SUMO. A ideia geral roda em torno de um veículo autônomo que tem sua rota e local de estacionamento pré-determinado. Seu modelo baseia-se na simulação de veículos convencionais para designar a rota de veículos autônomos, apresentando soluções otimizadas da logística de estacionamento.

As primeiras impressões do artigo de (ZHAO *et al.*, 2021) envolvem a comparação entre a simulação e a estimativa realizada através da função de *Cobb-Douglas*. Relacionando o número de vagas de estacionamento disponível, a velocidade média da rede e o número de veículos *cruising for parking* verificamos uma enorme semelhança de ambos. Além disso, conclui-se que quanto menor a velocidade média da rede, torna-se mais difícil de encontrar vagas de estacionamento.

2.4 Sumário do Capítulo

Os modelos de análise de tráfego de veículos podem ser macroscópicos, microscópicos ou mesoscópicos. Nesta dissertação é utilizado um modelo microscópico de simulação de tráfego de veículos em uma rede viária urbana. Neste tipo de modelo, o movimento de cada veículo é simulado individualmente, segundo um modelo de seguimento do veículo que está a sua frente. Além disso, semáforos, velocidades máximas permitidas e prioridades das vias, assim como as rotas de cada veículo são definidas. Um ponto importante na microssimulação é a definição dos pontos de entrada (VIN) e saída (VOUT) de veículos da simulação, assim como suas características de volume e distribuição ao longo do tempo.

Na revisão da literatura, destacam-se os trabalhos de (MADUSHANKA; JAYARATNE; PASINDU, 2020) e (SUI *et al.*, 2022), que utilizam o pacote PTV VISSIM e fornecem algum material para a definição de cenários de simulação e medidas de avaliação do efeito de *cruising for parking*. De maneira geral, os trabalhos da literatura voltados à análise do *cruising for parking* não são numerosos. Mais recentemente, tem-se observado uma tendência de mitigar este efeito com o uso de novas tecnologias. Sensores de presença e plataformas de *smart parking* procuram fornecer informações ao motorista sobre vagas ociosas antes mesmo do início da viagem. Isso reduz a necessidade de manobras de busca por vagas, tais como dar voltas na quadra, por exemplo. Estratégias de *off-street parking* são também consideradas e estudos voltados à implementação de políticas econômicas de *on-street parking* como alternativa para a mitigação do *cruising for parking*. Entretanto, estas estratégias estão fora do escopo desta dissertação.

3 METODOLOGIA

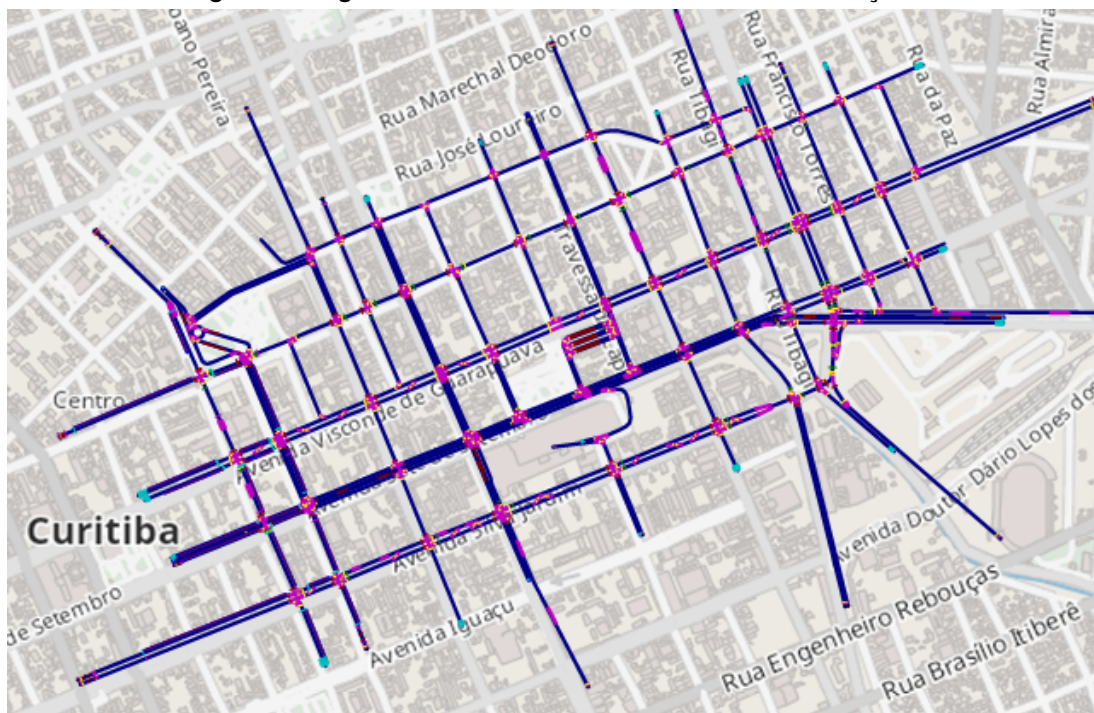
Este capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento da simulação. A Seção 3.1 apresenta as principais características do modelo de simulação desenvolvido pelo IPPUC. O modelo de simulação com estacionamento de veículos, incluindo o algoritmo de procura por vagas, é mostrado na Seção 3.2.

3.1 Modelo de Simulação do IPPUC

O modelo de simulação foi inicialmente desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) - detalhes podem ser encontrados em (IPPUC, 2017). Foi desenvolvido para analisar o impacto da operação da Estação Central de Transporte Público no sistema viário da região.

A área de estudo é retratada no centro de Curitiba. Uma área comercial, empresarial e acadêmica de tráfego automotivo e humano intenso. Dentre os pontos de interesse temos 4 com alta atratividade de veículos, sendo um shopping center, uma Universidade e 2 praças com alto volume de veículos de transporte público (ônibus). A Figura 1 mostra a área urbana modelada no software da PTV. Com 44 cruzamentos, ela é limitada à esquerda pela Rua Vinte e Quatro de Maio, à direita pela Av. Mariano Torres, acima pela Rua André de Barros e abaixo pela Av. Silva Jardim. O modelo foi desenvolvido com a criação de 714 *links*, que compõem segmentos de 31 ruas da área considerada

Figura 1 – Região central de Curitiba considerada na simulação.



A simulação foi calibrada com dados de tráfego de 2012 e atualizados com dados de 2017, a partir dos dados de equipamentos de radar da Secretaria de Trânsito (SETRAN) do município. O horário de pico foi então obtido como sendo entre 17:15h e 18:15h em intervalos de 15 minutos nos 44 cruzamentos, considerando um volume de tráfego de 152.065 veículos por hora (Ve/h) distribuídos proporcionalmente na rede.

Para distribuição do fluxo de veículos equilibrada utiliza-se 18 VIN e 17 VOUT de veículos. a calibração do modelo é desempenhada a partir do momento em que define-se a quantidade de veículos por hora (Ve/h) em cada VIN e a quantidade de veículos que saem em cada VOUT. Logo, com estas definições, o software estuda o caminho mais realista para o fluxo de veículos com a devida proporção designadas por VIN e VOUT.

Em sequência, no modelo inicial foi desenvolvido 205 rotas tráfego (chamadas de rotas estáticas pelo software) que correspondem ao caminho percorrido por um veículo desde sua entrada em VIN até sua saída em VOUT. Durante o percurso, os veículos podem percorrer mais de uma rota estática durante a simulação.

3.2 Simulação do Estacionamento de Veículos

Para adaptar o modelo inicial do IPPUC, foram criadas um total de 990 vagas de estacionamento para atender a demanda do modelo, distribuídas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Número de vagas de estacionamento na região considerada

Via	# Vagas
Avenida Mariano Torres	65
Avenida Presidente Affonso Camargo	79
Avenida Sete de Setembro	238
Avenida Silva Jardim	191
Rua Alferes Poli	14
Rua André de Barros	64
Rua Desembargador Westphalen	96
Rua Doutor Pedrosa	48
Rua Nilo Cairo	60
Rua Vinte e Quatro de Maio	109
Travessa Frei Caneca	26
Total	990

As vagas foram criadas ao longo das vias afim de replicar áreas de maior concentração de estacionamento na região, verificadas através do Google Maps, e assim captar as zonas de maior impacto, conforme demonstrado na Figura 2, em que as vagas de estacionamento estão destacadas em azul. A área considerada na simulação apresenta fluxo intenso de veículos, sendo que as vagas de estacionamento interferem não apenas na circulação normal dos veículos, mas também propagam este efeito pelas regiões vizinhas.

Uma vez definidas as posições das vagas de estacionamento da área considerada, é preciso especificar as classes de veículos, rotas de estacionamento e o tempo durante o qual o veículo fica estacionado na simulação.

3.2.2 Rotas de estacionamento

Dado o momento em que um veículo VNORM torna-se VPARK e o mesmo detecta uma rota de estacionamento, o veículo terá o comportamento de "buscar vagas". Este comportamento conta com redução de velocidade em locais que possuam vagas desejadas, paradas repentinas e obstrução de faixas muito próximas durante a ação de estacionar. Para suportar a demanda das 990 vagas de estacionamento, foi desenvolvido 75 rotas, que se iniciam em quadras anteriores às vagas de destino.

De acordo com (GU *et al.*, 2021), é necessário considerar o comportamento de motoristas que, ao não encontrarem vagas de estacionamento, decidem "dar uma volta na quadra". Este simples fato requer uma alteração no modelo de simulação, incorporando a volta na quadra e gerando congestionamento na vizinhança, na esperança de localizar uma vaga disponível. O Algoritmo 2 implementa o comportamento de um veículo VPARK nesta situação.

Algoritmo 2 – Busca por vagas de estacionamento (“cruising for parking”)

```

1: Veiculo = VPARK // veículo procurando vaga
2: CarroEstacionou = 0
3: se Vaga disponível então
4:   CarroEstacionou = 1 // conta tempo de estacionamento
5: senão, se random() < X% então
6:   Veiculo = VROUND // veículo dá volta na quadra
7:   para RotaPercorrida=1 a 4 faça
8:     se Vaga disponível então
9:       CarroEstacionou = 1 // conta tempo de estacionamento
10:      Break
11:   finaliza se
12:   finaliza para
13: finaliza se
14: Veiculo = VNORM // veículo retoma rota regular

```

Segundo o Algoritmo 2, um veículo VPARK inicia a procura por vaga (linha 1). Caso encontre, o veículo estaciona (linha 4) e volta à rota regular (linha 14) após decorrido o tempo de estacionamento. Caso contrário, uma escolha aleatória (linha 5), define um veículo VROUND para dar volta na quadra até o limite de 4 voltas. Neste caso, após o veículo estacionar (linha 9) ou não encontrar vaga após 4 voltas, o veículo volta à rota regular (linha 14).

Devido ao planejamento urbano da região escolhida, nem todas as vagas de estacionamento são elegíveis para uma rota em volta na quadra. Assim, foram criadas 16 rotas de estacionamento para atender os veículos VROUND que estão concentradas nas vias:

- Avenida Mariano Torres;
- Avenida Presidente Affonso Camargo;
- Avenida Sete de Setembro;
- Rua André de Barros;

- Rua Desembargador Westphalen;
- Rua Nilo Cairo;
- Rua Vinte e Quatro de Maio;
- Travessa Frei Caneca.

Desta forma, um aumento gradual no congestionamento ocasionado pelo efeito de *cruising for parking* é esperado nas regiões delimitadas pela volta na quadra. Este aumento se dá principalmente pela retroalimentação de veículos em uma mesma via. Conseqüentemente, este problema traz mais veículos ativos na rede, ou seja, veículos que demoram a deixar a área simulada.

3.2.3 Tempo de Estacionamento

O tempo de estacionamento (PTIME) se refere ao tempo em que o veículo, VPARK ou VROUND, mantém-se estacionado e é um aspecto importante para avaliar o efeito ocasionado por locais com alta, média e baixa rotatividade de veículos em uma mesma vaga de estacionamento. Na implementação da simulação optou-se a distribuição de probabilidade para simular situações que simulem práticas da realidade.

Para isto, define-se três possibilidades de avaliação de parâmetro. Na possibilidade de alta rotatividade de veículos, busca-se distribuir a maior porcentagem de VPARK a ficarem pouco tempo ocupando vagas de estacionamento. Na média rotatividade, busca implementar uma situação em que os veículos passam um quarto do tempo de simulação estacionados. A baixa rotatividade, demonstra uma análise da rede em que os VPARK estacionam e ficam, em sua maioria, estacionados durante metade do tempo de simulação.

3.3 Sumário do Capítulo

A metodologia utilizada nesta dissertação decorre da adaptação do modelo de simulação desenvolvido pelo IPPUC (IPPUC, 2017). As principais alterações no modelo inicial do IPPUC são: i) a inserção de vagas de estacionamento nas vias públicas; ii) a definição das rotas dos veículos que desejam estacionar e o tempo de estacionamento (PTIME); iii) a definição de novas classes de veículos (VNORM, VPARK e VROUND) associados a diferentes comportamentos em relação a rotas e intenção de estacionar; iv) a definição de um algoritmo que caracteriza o comportamento dos veículos que circulam uma quadra em busca de vagas de estacionamento.

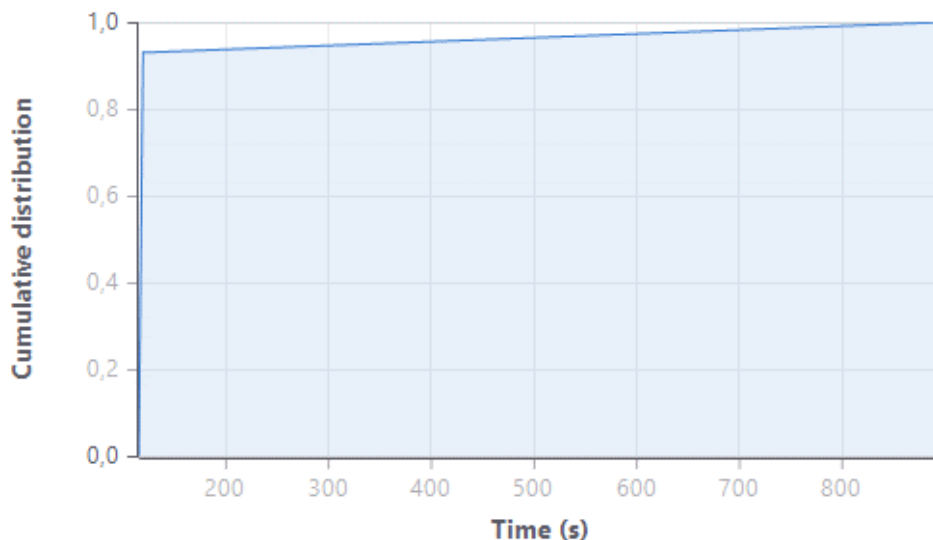
4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para 28 diferentes cenários de simulação. Um dos cenários é tomado como base de comparação, onde não há estacionamento. Dessa forma, o efeito de *cruising for parking* pode ser avaliado em diferentes condições de número de veículos procurando vagas (e executando voltas na quadra) e tempo de estacionamento. As configurações dos parâmetros das simulações são mostradas na Seção 4.1 e os cenários definidos na Seção 4.2. Os resultados e discussões são apresentados na Seção 4.3.

4.1 Configuração de Parâmetros

Os parâmetros da simulação são variáveis predefinidas que permitem avaliar o efeito do estacionamento sob diferentes condições. De acordo com (SUI *et al.*, 2022), o impacto dos veículos que buscam vagas no tráfego regular de veículos deve ser caracterizado. Para tanto, o percentual de veículos VPARK deve ser fixado. Da mesma forma, o percentual de veículos VROUND deve ser fixado em relação a VPARK, já que os veículos VROUND correspondem a um subconjunto de VPARK. Estes percentuais são fixados em 30%, 50% e 70% (e suas combinações), representando uma procura baixa, média e alta por vagas.

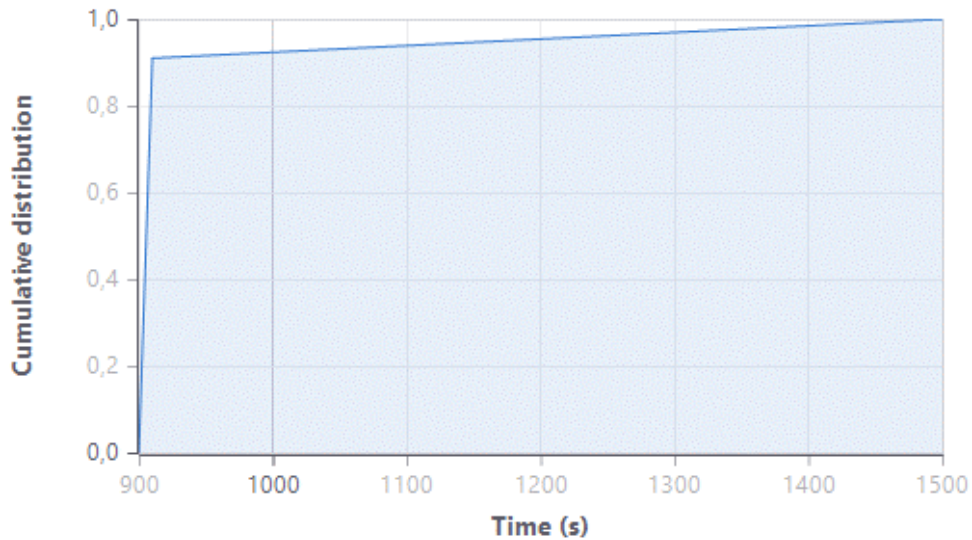
Figura 3 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 2 minutos das vagas de estacionamento.



O tempo de estacionamento PTIME é fixado de forma a avaliar o impacto da rotatividade da vaga. Um maior tempo de estacionamento deve capturar uma maior dificuldade para encontrar vaga e, por consequência, gerar uma circulação maior de veículos na área de estacionamento. Diferentemente dos percentuais de VPARK e VROUND, PTIME possui uma distribuição de probabilidade, representando 3 níveis de ocupação das vagas com maior frequência: i) até 2 minutos; ii) até 15 minutos; iii) até 30 minutos estacionado. As distribuições de probabilidade são determinadas pelas funções cumulativas das Figuras 3, 4 e 5.

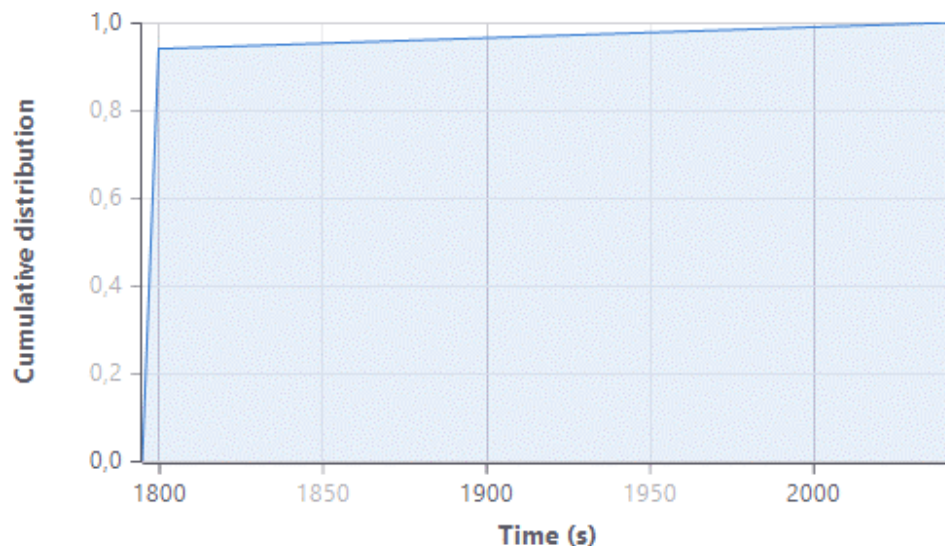
Na Figura 3, observa-se que o acumulado de veículos que se encontram estacionados por menos de 100 segundos de simulação é praticamente zero. Conforme demonstrado no gráfico, mais de 95% dos veículos tomam como hábito, ficar mais de 1 minuto e 40 segundos (100 segundos) estacionado.

Figura 4 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 15 minutos das vagas de estacionamento.



Outrora, na Figura 4, o gráfico assemelha-se em sua curva. Fica evidente que o hábito retratado demonstra que o tempo médio de 90% dos veículos está localizado a partir de 15 minutos (900 segundos).

Figura 5 – Distribuição do tempo de ocupação PTIME de 30 minutos das vagas de estacionamento.



Por fim, repete-se o padrão na Figura 5. Desta vez, o tempo em que a distribuição cumulativa salta de 0 para 0,9 é em 30 minutos (1800 segundos). Este gráfico representa o último valor do parâmetro de análise PTIME.

4.2 Definição dos Cenários

Os cenários são definidos com base na combinação das porcentagens de veículos VPARK (30%, 50% e 70% dos veículos VNORM), VROUND (30%, 50% e 70% dos veículos VPARK) e no tempo PTIME (2 min ou 6%, 15 min ou 50% e 30 min ou 100%) de ocupação das vagas. Assim, 28 cenários são definidos na Tabela 3 e numerados de 0 a 27, sendo o cenário 0 tomado como *baseline*. Este cenário corresponde à simulação inicial do IPPUC, com VPARK=0%, VROUND=0% e PTIME=0%, ou seja, sem estacionamento.

Tabela 3 – Número médio de veículos na rede e número de veículos com rota completa nos cenários 0 a 27.

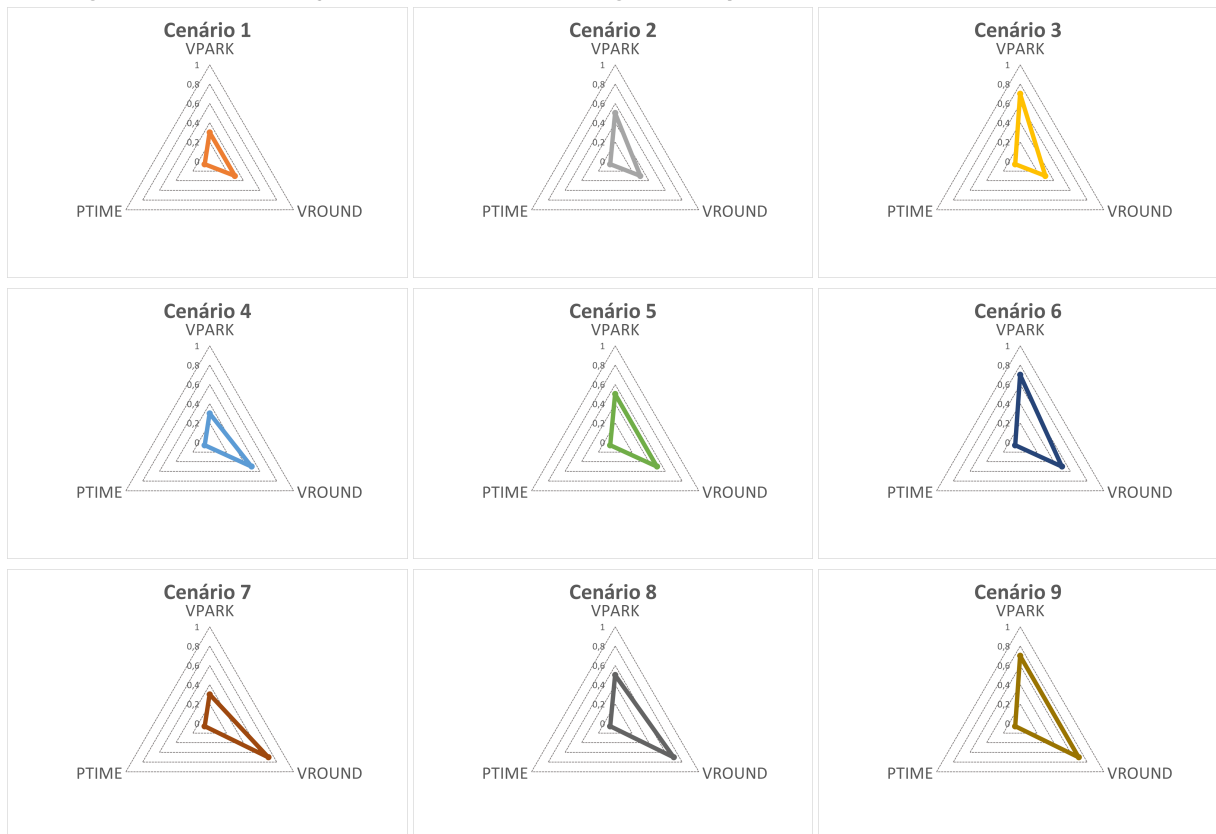
Cenário	VPARK (%)	VROUND (%)	PTIME (%)	Cenário	VPARK (%)	VROUND (%)	PTIME (%)
0	0	0	0 (0 min)	14	50	50	50 (15 min)
1	30	30	6 (2 min)	15	70	50	50 (15 min)
2	50	30	6 (2 min)	16	30	70	50 (15 min)
3	70	30	6 (2 min)	17	50	70	50 (15 min)
4	30	50	6 (2 min)	18	70	70	50 (15 min)
5	50	50	6 (2 min)	19	30	30	100 (30 min)
6	70	50	6 (2 min)	20	50	30	100 (30 min)
7	30	70	6 (2 min)	21	70	30	100 (30 min)
8	50	70	6 (2 min)	22	30	50	100 (30 min)
9	70	70	6 (2 min)	23	50	50	100 (30 min)
10	30	30	50 (15 min)	24	70	50	100 (30 min)
11	50	30	50 (15 min)	25	30	70	100 (30 min)
12	70	30	50 (15 min)	26	50	70	100 (30 min)
13	30	50	50 (15 min)	27	70	70	100 (30 min)

Os demais cenários (1 a 27) representam combinações dos parâmetros supracitados que explicitam situações com baixa, média e alta intensidade para cada combinação. Isso pode ser visto nas Figuras 6, 7 e 8, as quais mostram graficamente os valores dos parâmetros em cada cenário. Em cada gráfico, observamos VPARK no canto superior ao centro, VROUND no canto inferior à direita e PTIME no canto inferior à esquerda.

A Figura 6, apresenta os Cenários 1 a 9. Estes cenários apresentam o parâmetro PTIME de maneira fixa e recorrente, com seu valor (6%) inalterado em todas as 9 imagens. Analisando os gráficos localizados na primeira linha (Cenários 1 a 3) verificamos que, além do parâmetro PTIME, o parâmetro VROUND se mantém no valor de 30%. Assertivamente, na segunda linha de gráficos (Cenário 4 a 6) o parâmetro VROUND não se altera entre estes, todavia analisa-se a combinação de VROUND igual a 50%. Comumente, nos Cenários 7 a 9, VROUND tem o mesmo valor de 70% para os cenários localizado na terceira linha. Além disto, se analisarmos a Figura 6, através de suas colunas, percebemos que na 1ª coluna o parâmetro VPARK se mantém inalterado, enquanto VROUND varia entre 30%, 50% e 70%. Na segunda VPARK se altera para 50% e na terceira em 70%.

A partir do padrão de análise descrito no parágrafo anterior, pode-se descrever que o Cenário 9 demonstra o pior caso para um PTIME igual a 2 minutos (6%), pois registra a combinação de VPARK e VROUND em 70%. No Cenário 1 temos, o melhor cenário possível, para o mesmo PTIME.

Figura 6 – Caracterização dos Cenários 1 a 9, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME



Na Figura 7, temos descritos os Cenários 10 a 18. O padrão de análise dos 9 gráficos postos nessa figura é idêntico ao da Figura 6. A principal diferença nos Cenários 10 a 18 apresenta-se através do valor do Parâmetro PTIME que, para todos os gráficos dos cenários, está fixado em 15 minutos (50%). Os casos com maior intensidade de VPARK e VROUND estão registrados pelo Cenário 18, e o no Cenário 10 temos o Cenário com o menor impacto dos demais.

A Figura 8, contendo os gráficos referente aos Cenários 19 a 27, demonstra a variabilidade dos parâmetros VPARK e VROUND, fixando o parâmetro PTIME no valor de 30 minutos (100%). O Cenário 27 contém a combinação de todos os parâmetros em seu máximo, e o Cenário 19 apresenta os menores valores de VPARK e VROUND para o maior valor de PTIME.

Os cenários possibilitam verificar, de maneira explícita, o impacto, do efeito *cruising for parking*, que cada parâmetro interfere na mobilidade urbana das cidades. Ao evidenciar os parâmetros retratados nas Figuras 6,7 e 8, possibilita-se a adoção de políticas públicas e inteligentes para a solução deste fenômeno ocorrido pela busca de vagas de estacionamento paralelas à via.

Figura 7 – Caracterização dos Cenários 10 a 18, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME

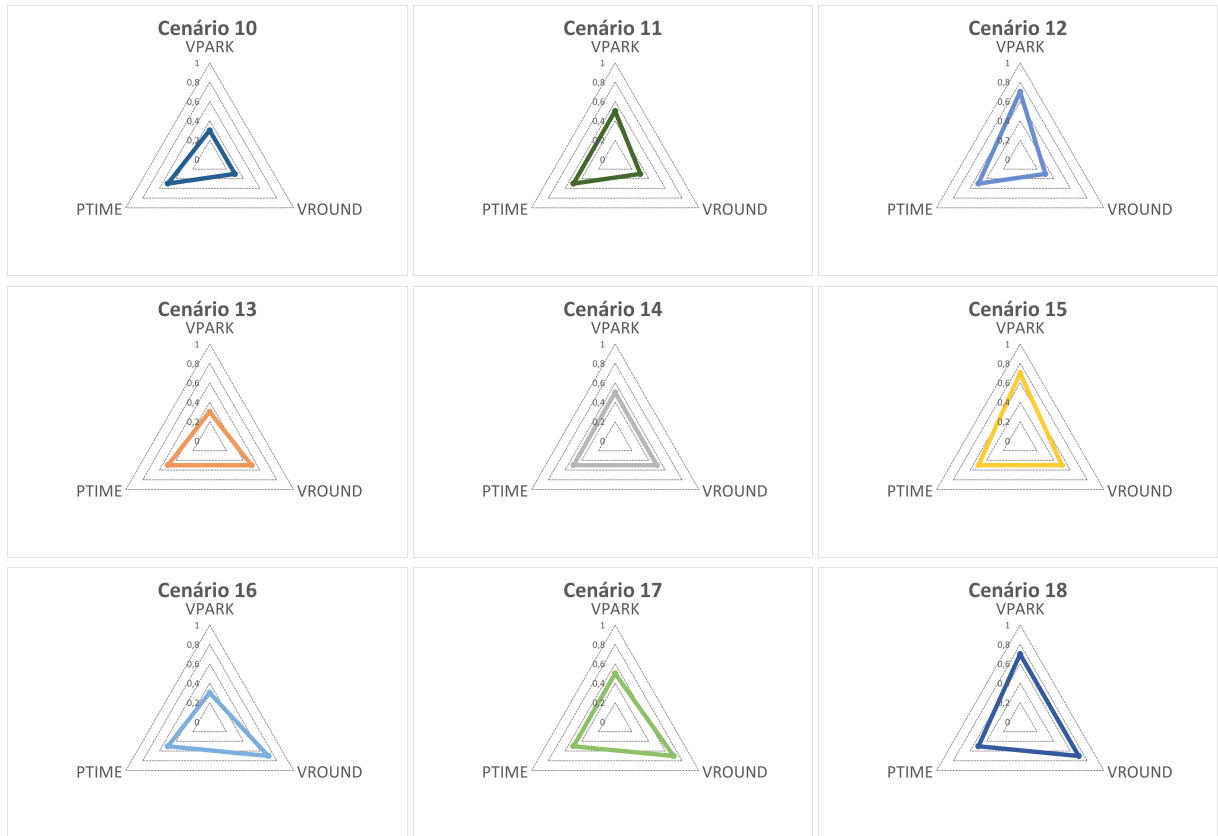
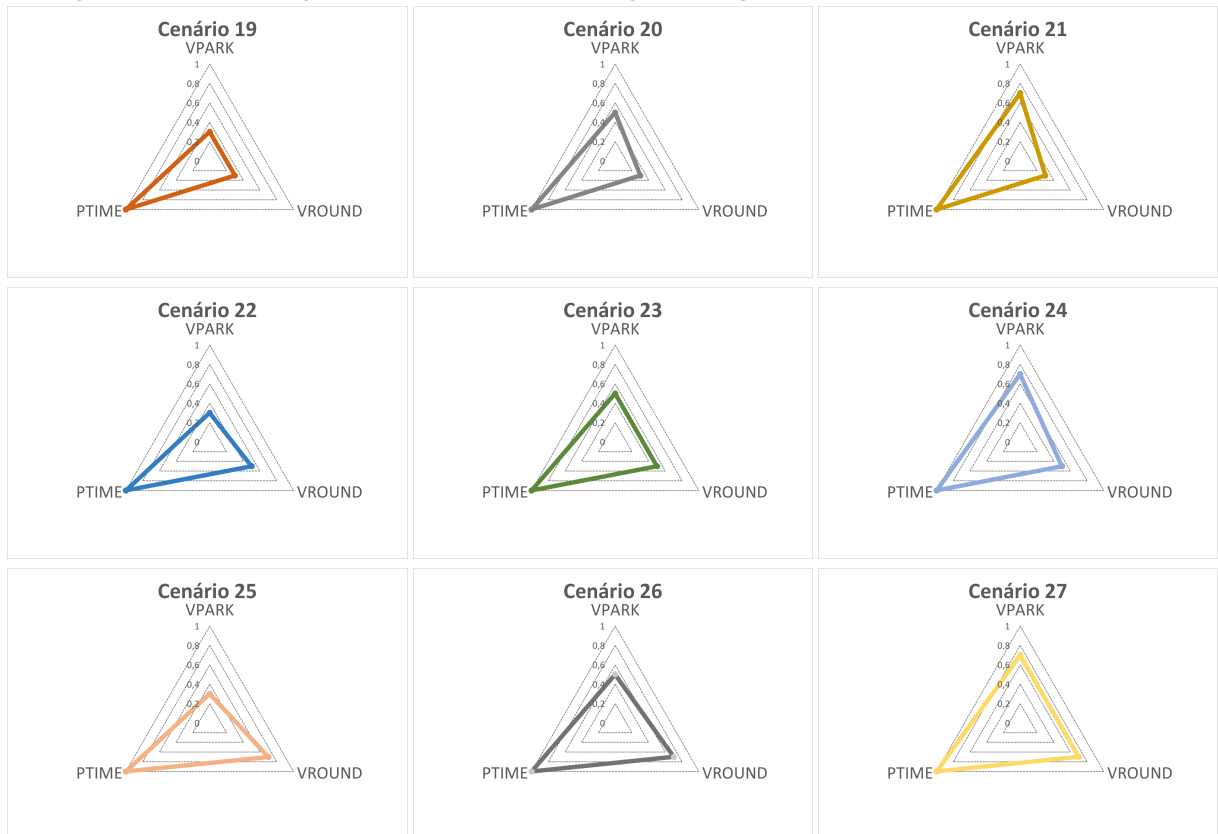


Figura 8 – Caracterização dos Cenários 19 a 27, segundo os parâmetros VPARK, VROUND e PTIME



4.3 Resultados de Simulação por Cenário

A Tabela 4 mostra o número médio de veículos na área considerada e o número de veículos que completam a rota, iniciando em VIN e finalizando em VOUT. Estes valores auxiliam na interpretação do fluxo de tráfego na rede. Em epígrafe na tabela, em sentido de percentual de VPARK e VROUND, percebemos os cenários menos carregados (1, 10 e 19), os mais carregados (9, 18 e 27) e o *baseline* (0).

No cenário 0, o número médio de veículos circulando na rede é de 3.136, sendo que 20.015 veículos concluem a rota. Nos cenários menos carregados, o aumento médio, em relação ao *baseline* de veículos acumulados é de 42%, para os veículos que chegam ao seu destino, é uma redução média de 7%. Outrora, nos cenários mais carregados, o aumento no número médio de veículos é de acumulados na rede é de 60%, quanto ao número de veículos que concluem sua rota percebe-se uma redução média de 8%.

Por fim, ao comparar os demais cenários com o *baseline*, detectamos que, em média, há um aumento de 52% nos veículos acumulados na rede e uma redução de 8% nos veículos que finalizam a rota.

Tabela 4 – Número médio de veículos na rede e número de veículos com rota completa nos cenários 0 a 27.

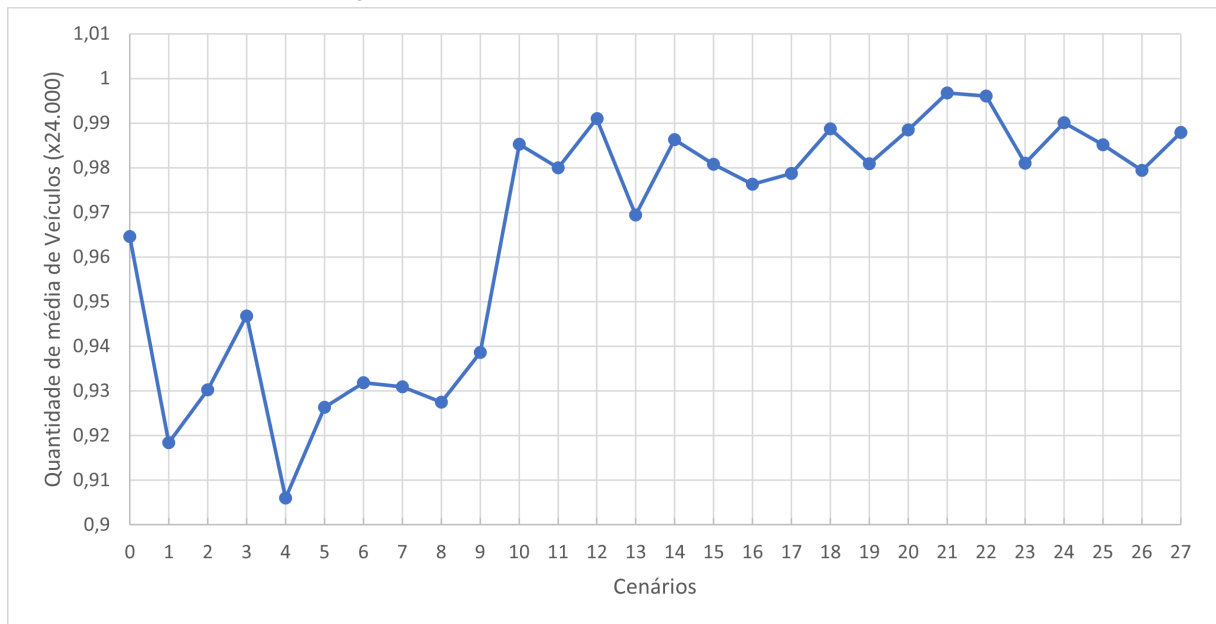
Cenário	No. médio Veic.	Qtd.Rota Completa	Cenário	No. médio Veic.	Qtd.Rota Completa
0	3.136	20.015	14	4.626	19.044
1	4.478	17.563	15	4.624	18.915
2	5.113	17.212	16	4.638	18.794
3	5.485	17.239	17	5.235	18.254
4	4.752	16.992	18	4.570	19.159
5	4.649	17.583	19	4.339	19.202
6	5.708	16.655	20	4.571	19.153
7	4.243	18.099	21	4.496	19.427
8	5.129	17.131	22	4.393	19.512
9	5.710	16.816	23	4.796	18.748
10	4.579	19.068	24	5.102	18.660
11	4.496	19.023	25	4.199	19.443
12	5.007	18.777	26	4.908	18.597
13	4.647	18.618	27	4.734	18.976

De acordo com a Tabela 4, a Figura 9 mostra graficamente a soma da quantidade média de veículos que concluíram a sua rota e dos veículos acumulados na rede, para cada um dos cenários. É notório a redução de veículos nos cenários 1 ao 9 enquanto há um aumento nos cenários 10 a 27.

A concentração de veículos, também conhecida como densidade de veículos, retratada em (MOREIRA *et al.*, 2005) é descrita como quantidade de veículos em um trecho da via. Na Tabela 4 a concentração de veículos na rede pode ser interpretada pelo número médio de veículos acumulado na rede, pois demonstra a densidade média de veículos na rede.

Nos Cenários 1 a 9, o percentual de veículos acumulados na rede em relação à quantidade de veículos que completaram sua rota é superior. Em exemplo, o Cenário 09, 18 e 27 possuem, respectivamente, um percentual de 34%, 24% e 25%.

Figura 9 – Quantidade média de veículos na rede.



O Cenário 1, mostra uma concentração de veículos relativamente baixa, num percentual de 25% em relação à quantidade de veículos que completam sua rota. Destaca-se neste cenário uma quantidade baixa de veículos que completa sua rota. Considerando que, a densidade de veículos deste cenário não chega a influenciar na redução dos veículos que chegam ao seu destino, verifica-se que na Figura 10 a distância total percorrida possui um gráfico similar à quantidade de veículos na via.

Segundo a Figura 10, a distância total percorrida para os cenários 1 ao 9 possui um valor inferior ao *baseline* e inferior aos demais cenários. Nestes cenários, em que há uma alta rotatividade (PTIME em nível 1), percebe-se um impacto significativo no tráfego de vias urbanas.

A distância percorrida é descrita em 4.

$$dist = v \cdot tempo \quad (4)$$

Neste sentido, a velocidade dos veículos na rede tem impacto significativo na concentração de veículos. O próprio estudo apresentado (SUI *et al.*, 2022) propõe que o impacto do efeito de *cruising for parking* é avaliado também pelo atraso médio de viagem (em relação às vias livres), velocidade média dos veículos e quantidade média de paradas.

A Tabela 5 reforça que os resultados dos impactos de *cruising for parking* dos Cenários 1 ao 9 são mais acentuados que nos demais Cenários (10 a 27). Apropriando-se de seus dados de velocidade média, verificamos que nos Cenários 1 e 9, possuem, respectivamente, uma redução da velocidade média em relação ao *baseline* de 3,8 km/h (34%) e 5,62 km/h (50%).

A fim de comparação, o Cenário 10, 18, 19 e 27 possuem, respectivamente, uma redução de 3,21 km/h (28%), 3,28 km/h (29%), 2,97 km/h (26%) e 3,36 km/h (30%). (MOREIRA

Figura 10 – Distância total percorrida pelos veículos em cada cenário.

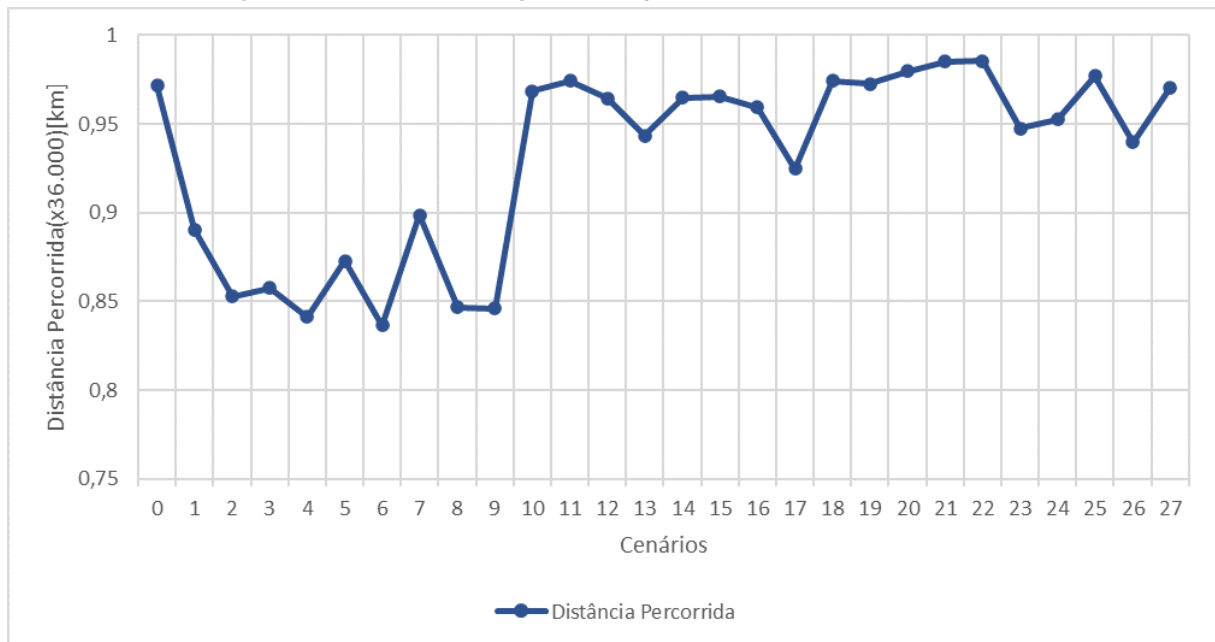


Tabela 5 – Resultados de tráfego para os diferentes cenários simulados.

Cenário	Atraso médio (min)	Veloc. média (km/h)	Qtd. Média de paradas	Cenário	Atraso médio (min)	Veloc. média (km/h)	Qtd. Média de paradas
0	5,87	11,29	13,48	14	7,12	7,69	13,25
1	8,52	7,48	14,59	15	6,83	7,90	13,19
2	9,54	6,37	15,51	16	6,87	7,88	13,09
3	10,86	5,73	18,30	17	7,79	7,07	13,62
4	9,30	6,76	15,35	18	6,71	8,01	12,70
5	8,97	6,77	14,85	19	6,31	8,32	11,88
6	10,87	5,66	17,43	20	6,49	8,17	12,34
7	8,11	7,75	14,20	21	6,27	8,33	12,05
8	10,00	6,17	15,76	22	6,50	8,20	12,32
9	10,96	5,67	17,88	23	7,38	7,40	13,94
10	6,61	8,08	12,75	24	7,37	7,39	14,20
11	6,66	8,09	12,97	25	6,42	8,25	12,42
12	7,25	7,57	13,71	26	7,53	7,27	14,31
13	6,88	7,82	12,10	27	6,75	7,93	12,72

et al., 2005) apoia a hipótese da influência da velocidade no fluxo de veículos é linear. Mas além disto, aprofunda seu estudo demonstrando que quando se mantém um fluxo de veículos com uma variação brusca na concentração de veículos, demonstrado na Tabela 5 como quantidade média de paradas, geramos um efeito de estrangulamento na via, logo prejudicando a capacidade da via.

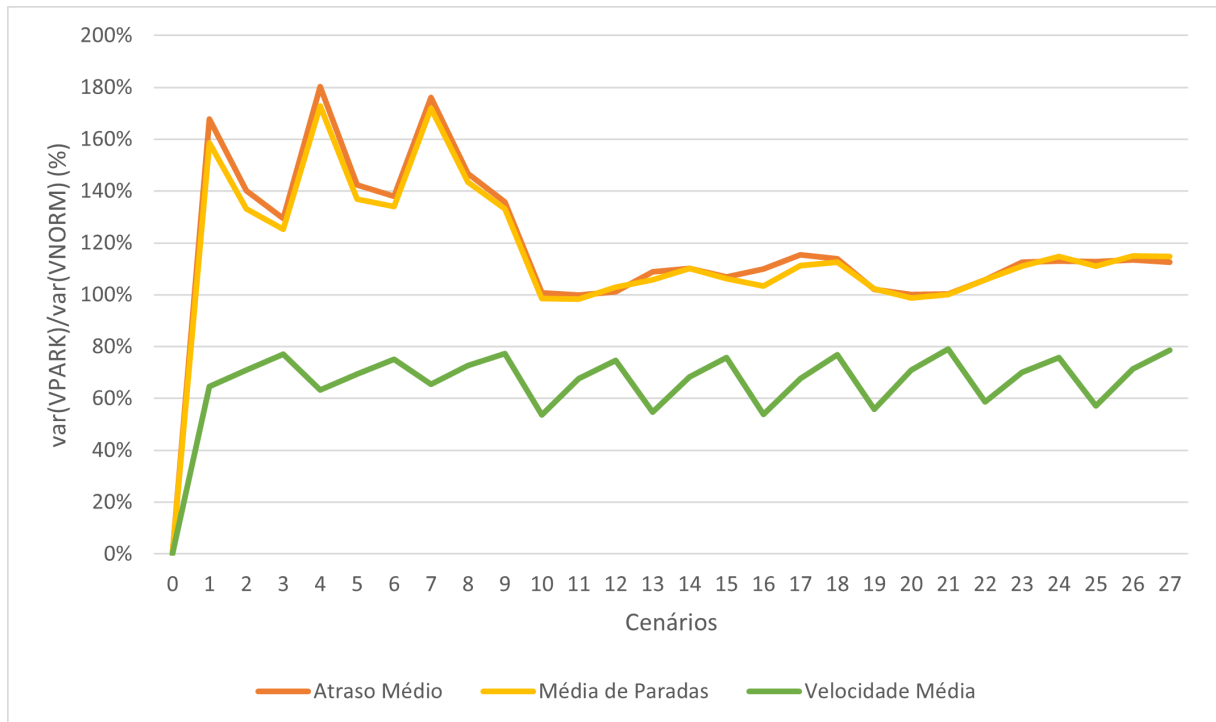
O aumento na quantidade média de paradas é relevante nos valores dos cenários 1 a 9, enquanto nos cenários 10 a 27 é possível verificar uma redução na quantidade de paradas em relação ao *baseline*.

Assim, temos que os cenários 1 a 9 são mais influenciados pelo estrangulamento da via. A Figura 11 apresenta um gráfico tal que no eixo Y temos a razão entre o atraso médio (similar-

mente, média de paradas e velocidade média) dos veículos VPARK e dos veículos VNORM. No eixo X tem-se os 28 cenários.

Dado que os cenários 1 a 9 têm uma forte influência de PTIME, nota-se que ao considerarmos, um cenário de alta rotatividade de estacionamento, o impacto que os veículos VPARK trazem à rede é grande. Analisando novamente a Figura 11, o Cenário 1 tem os veículos VPARK com uma média de paradas 60% maior que os veículos VNORM. No Cenário 9, a relação é mais tímida. Porém, ainda revela ser 40% maior. Contrariamente, nos cenários 10 a 27, VPARK parece não ter valores muito maiores que VNORM.

Figura 11 – Razão $\text{var}(\text{VPARK})/\text{var}(\text{VNORM})$ com $\text{var} \in \{\text{atraso, paradas, velocidade}\}$ para cada cenário.

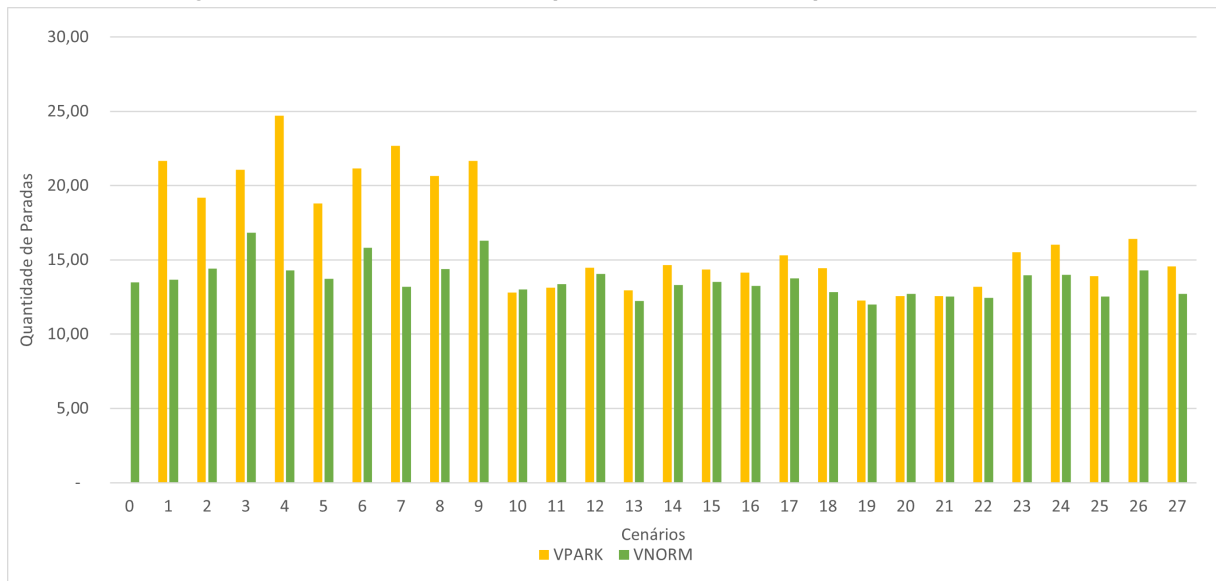


A Figura 12, apresenta a quantidade média de paradas para VNORM e VPARK em cada cenário. Esta figura mostra que VPARK possui influência na quantidade de paradas nos cenários com tempo de estacionamento reduzido (cenários 1 a 9). Especificamente nos cenários 1, 2 e 3, em que VROUND é de 30% nota-se que a quantidade de paradas é aproximadamente 20. Ao aumentarmos a porcentagem de VPARK na via, mantendo uma alta rotatividade de veículos, temos que a quantidade de paradas para VNORM aumenta com o aumento de VPARK.

4.4 Resultados de Simulação por Agrupamento de Cenários

Esta seção analisa os resultados por agrupamento de cenários. O Grupo 1 fixa o valor de VPARK em 30%, 50% ou 70% e simula o tráfego para todas as outras combinações de VROUND e PTIME. O Grupo 2 fixa o valor de VROUND em 30%, 50% ou 70% e simula o

Figura 12 – Quantidade média de paradas, classificadas por VPARK e VNORM



tráfego para todas as outras combinações de VPARK e PTIME. Similarmente para o Grupo 3, que fixa o valor de PTIME em 2, 15 e 30 min, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Grupos de cenários definidos com base no parâmetro comum.

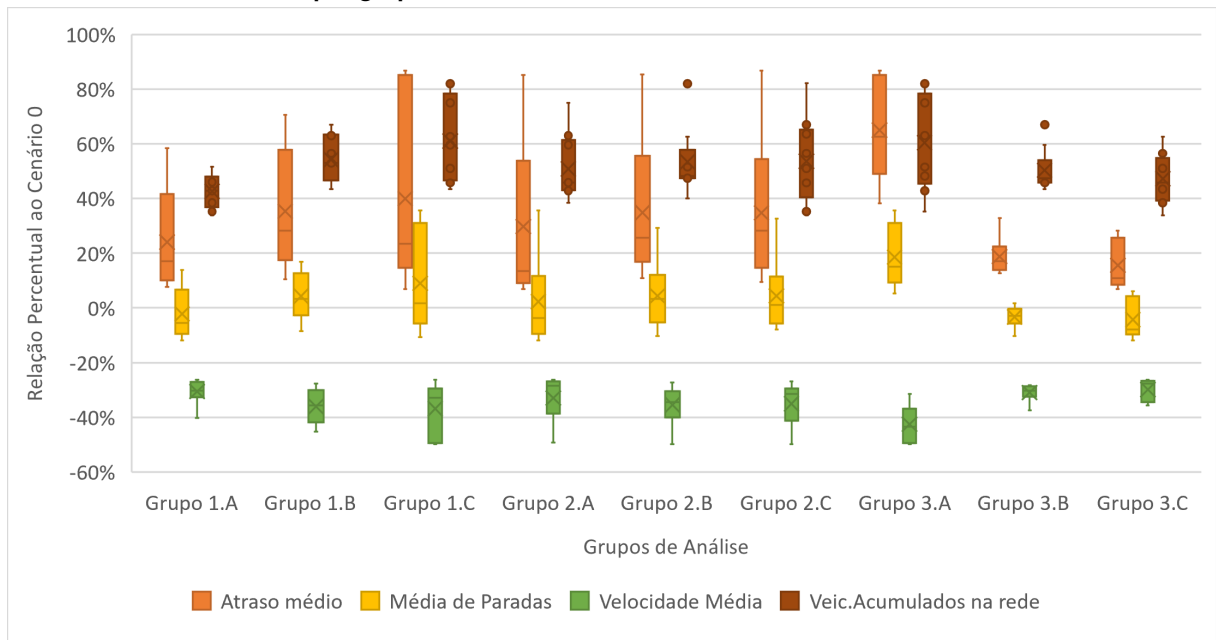
Grupo	Subgrupo	Cenários	Parâmetro comum	Valor
1	A	{1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25}	VPARK	30%
	B	{2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26}	VPARK	50%
	C	{3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27}	VPARK	70%
2	A	{1, 2, 3, 10, 11, 12, 19, 20, 21}	VROUND	30%
	B	{4, 5, 6, 13, 14, 15, 22, 23, 24}	VROUND	50%
	C	{7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27}	VROUND	70%
3	A	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}	PTIME	2 min
	B	{10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18}	PTIME	15 min
	C	{19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27}	PTIME	30 min

Diante aos grupos e subgrupos gerados na tabela 6 e dos resultados apresentados na tabela 5 pode se verificar, através da Figura 13 um gráfico contendo os valores médios, em relação ao *baseline*, de atraso, quantidade de paradas, velocidade e quantidade de veículos para cada um dos 9 subgrupos.

No gráfico observa-se que que o atraso é sempre superior ao atraso do cenário base. Com exceção do Grupo 3.A, que tem um aumento, em relação ao cenário sem *cruising for parking*, de cerca de 65% no atraso médio, os demais grupos possuem sempre possuem valores de atraso médio entre +20% e +40%, independente da combinação de parâmetros.

Em referência aos resultados de velocidade média, seus valores sempre são menores do que no cenário base, indicando as consequências do efeito *cruising for parking*. Pode-se verificar que há uma baixa variação entre os grupos, subentendendo-se que os resultados têm pouca dependência de VPARK, VROUND e PTIME. Os resultados sempre se aproximam de -40% do observado no cenário base.

Figura 13 – Atraso médio, paradas, velocidade média e quantidade de veículos acumulados em relação ao cenário base 0 por grupo de cenários.



Em complemento ao observado no parágrafo anterior, temos os valores da quantidade de veículos acumulado na rede para os grupos. Este resultado, simula a concentração média da rede e, conforme descrito anteriormente, o produto da concentração e velocidade implica no fluxo de veículos. A relação de ambos fica muito evidente pela Figura 13, uma vez que quando se aumenta a concentração a velocidade se reduz.

Ainda, segundo a teoria de fluxo de tráfego exposta em (MOREIRA *et al.*, 2005), extrai-se a ideia de estrangulamento da rede ao compararmos os resultados de número de paradas à quantidade de veículos na rede. Dentre os nove grupos, apenas o grupo 3.A apresenta um aumento considerável na média de paradas em relação ao *baseline*. Esta singularidade do grupo ocorre principalmente por conta da mudança brusca na concentração de veículos, verificado pela quantidade de veículos acumulados na rede e velocidade média dos veículos. Quanto maior a relação entre a concentração e a velocidade de veículos em um mesmo grupo, maior o congestionamento na via, conseqüentemente maior a quantidade média de paradas.

Além dos pontos significativos indicados acima, verifica-se que na Figura 13 há um aumento no atraso e quantidade de veículos acumulados na rede proporcional ao aumento de VPARK (Grupo 1). Além disso, aumenta-se a dispersão entre os três primeiros grupos.

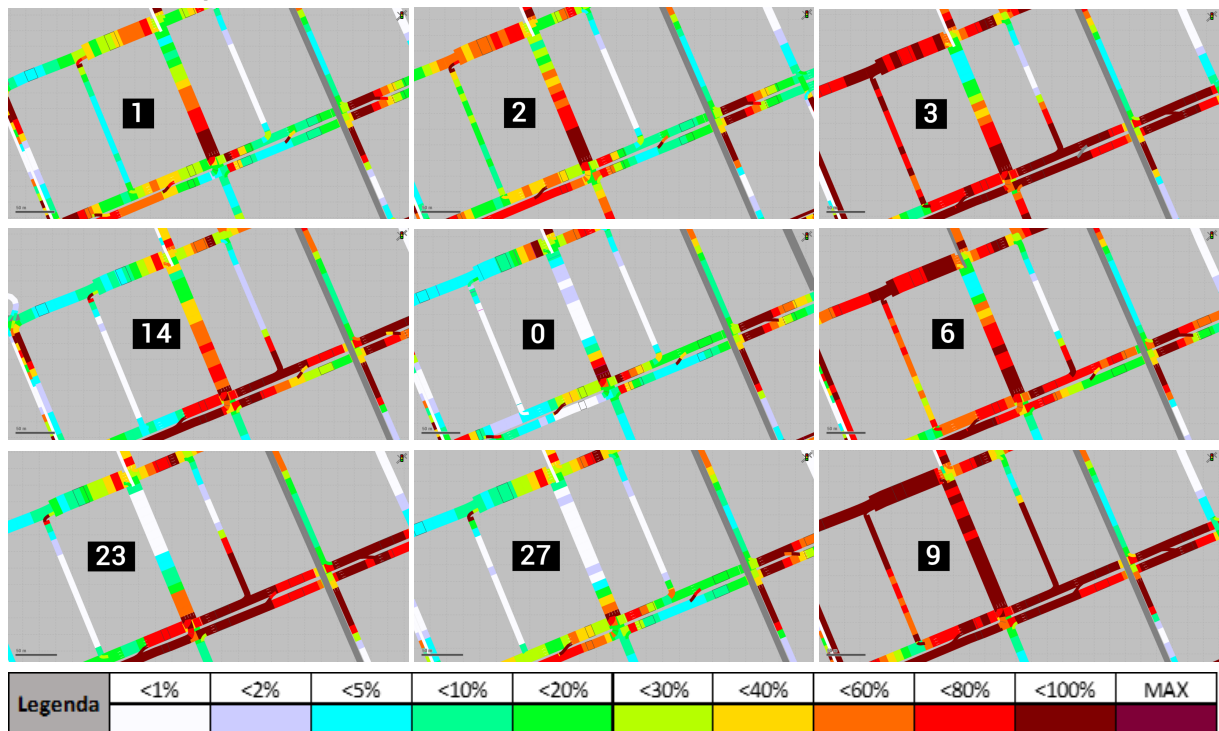
Analisando o parâmetro VROUND, o Grupo 2 não mostra impacto significativo no atraso, paradas, velocidade e concentração de veículos. Por fim, para PTIME igual a 2 minutos, remediado pelo subgrupo 3.A, o atraso e concentração de veículos com um aumento de 60% e quantidade paradas aumentada em 20% mostram que, quanto menor PTIME maior é seu impacto no tráfego.

Considerando que o grupo 1.C foi o segundo grupo com apresentação de valores mais díspares ao *baseline*, conclui-se que VPARK e PTIME são bastante influentes no efeito *cruising for parking*.

Quanto aos principais resultados, podemos inferir que a concentração de veículos e o atraso médio de veículos são indicadores importantes nos estudos de tráfego urbano. Ambos mostram o congestionamento e impacto na mobilidade urbana. O atraso relativo é a porcentagem de agravamento no tempo de viagem em relação ao fluxo livre.

A Figura 14 mostra o mapa de calor do atraso médio (em relação ao fluxo livre de veículos) observado em uma área selecionada. Para interpretá-la, a Figura 15 mostra o caminho em que VROUND faz sua "volta na quadra". A rota de volta na quadra tem em seu norte a Rua André de Barros, ao oeste a Travessa Frei Caneca, ao leste a rua Desembargador Westphalen e ao sul a avenida Visconde de Guarapuava.

Figura 14 – Mapa de calor do atraso médio relativo ao fluxo livre de veículos de uma área selecionada dos cenários 1, 2, 3, 14, 0, 6, 23, 27 e 9, numerados sequencialmente da esquerda para direita e de cima para baixo.



Na Figura 14, foram selecionados 9 cenários (0, 1, 2, 3, 6, 9, 14, 23 e 27) que destacam o impacto do *cruising for parking* claramente. Os cenários possuem seu número de referência ao centro de cada mapa de calor. As ruas que estão ao redor do número de referência são as mesmas representadas na Figura 15.

O mapa que representa o cenário 0, está localizado no centro da Figura 15. Os cenários (1, 2 e 3) que representam a evolução do aumento de VPARK em uma alta rotatividade de estacionamento se localizam na primeira linha da imagem. Os Cenários (3, 6 e 9), representando o impacto de VROUND na região onde os veículos dão a volta na quadra, estão mostrados na

Figura 15 – Rota de exemplo de volta na quadra



última coluna da direita. Na primeira coluna da esquerda temos, além do cenário 1, os Cenário 14 e 23, que se assemelham na quantidade de VPARK e VROUND, porém diferenciam-se pelo tempo em que os veículos ficam estacionados. Abaixo do cenário 0, temos o cenário 27, com todos os parâmetros em seus valores máximos.

Ao comparar as três figuras na primeira linha (cenários 1, 2 e 3) com o cenário 0, nota-se um agravamento (mostrado pelo avermelhar e escurecer da via) do atraso relativo, conforme o percentual de VPARK é incrementado.

Nota-se também um agravamento do atraso em vias que não possuem vagas de estacionamento, como é o caso da Av. Visconde de Guarapuava, situada abaixo do número do cenário. Este atraso significativo sugere que o efeito de *cruising for parking* tem impacto também na vizinhança das áreas de estacionamento.

Os mapas de calor da última coluna (cenários 3, 6 e 9) à direita da Figura 14 mostram o impacto do aumento na porcentagem de VROUND para um mesmo VPARK (70%) e um mesmo PTIME (6%). Estes cenários 3, 6 e 9 contêm os piores atrasos médios dentre todos os 28 cenários, pois mostram uma saturação total da região. Além disso, o maior aumento de VROUND no cenário 9, representa o pior resultado.

No mapa localizado no canto inferior esquerdo (cenário 23) da Figura 14, representando VPARK e VROUND com valores intermediários de 50% e tempo de estacionamento de

aproximadamente 30 minutos, a área de congestionamento concentra-se na Av. Visconde de Guarapuava, que não possui qualquer vaga de estacionamento. No cenário 14 (acima do cenário 23), os parâmetros se assemelham, diferenciando-se apenas pela redução no tempo de estacionamento para aproximadamente 15 minutos. No cenário 14, a área de congestionamento se dispersa pela Rua Desembargador Westphalen.

No mapa abaixo do cenário 0 (*baseline*), tem-se o cenário 27, que possui os parâmetros de VPARK, VROUND e PTIME em seus valores máximos. Neste cenário, a distribuição do atraso médio na área selecionada se assemelha ao cenário 0 (sem estacionamento).

4.5 Sumário do Capítulo

Os resultados obtidos nesta dissertação se destacam a partir dos grupos de análise com parâmetros fixados em VPARK (1.A, 1.B e 1.C) e em PTIME aproximado à 2 minutos (3.A). O grupo de análise 1, que verifica o impacto de *cruising for parking* fixando VPARK, identifica que, em média, há um aumento na concentração de veículos de quase 10% para um aumento de 5% na quantidade de paradas para cada incremento de proporção de VPARK. No grupo 3.A verifica-se um impacto nítido de *cruising for parking* com valores médios de atraso e concentração de veículos superiores à *baseline* em 60%.

O parágrafo anterior determina a relação da teoria de fluxo de tráfego aos resultados simulados. No Cenário 9 com uma concentração de veículos 65% superior ao *baseline* verificamos uma redução de 50% da velocidade média na rede e um aumento de 33% na quantidade de paradas. A porcentagem ainda é vista na Figura 14 que valida que a mudança brusca da concentração de veículos para um mesmo fluxo ocasiona em um estrangulamento da via.

5 CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como base um modelo de simulação de tráfego da cidade de Curitiba desenvolvido pelo IPPUC (IPPUC, 2017). Diferentemente deste modelo inicial, foram incluídas 990 vagas de estacionamento distribuídas em 11 vias urbanas, definidas 75 novas rotas de estacionamento, três novas classes de veículos (VNORM, VPARK e VROUND), e um algoritmo rota de circulação na quadra para veículos VROUND e uma distribuição probabilística para o tempo que os veículos ficam estacionados (PTIME).

A partir da simulação, foi possível separar três parâmetros, que tiveram seus valores variados, para analisar suas influências no fenômeno de *cruising for parking*. O primeiro parâmetro foi a porcentagem de veículos VPARK que desejam estacionar (como porcentagem do fluxo total de veículos que alimenta a simulação), buscando avaliar o impacto da quantidade de veículos que buscam vagas de estacionamento no efeito de *cruising for parking*. O segundo parâmetro foi a porcentagem de veículos VROUND que circulam uma quadra em busca de estacionamento. Por fim, o terceiro parâmetro foi o tempo (PTIME) durante o qual um veículo fica estacionado na vaga.

Para esses três parâmetros, foram definidos três valores para cada um deles, procurando caracterizar três diferentes tipos de impacto (leve, médio e severo). Para VPARK e VROUND os valores fixados foram de 30%, 50% e 70% do fluxo total de veículos que alimenta a simulação e para PTIME os valores foram de 2 (6%), 15 (50%) e 30 minutos (100% do valor máximo de 30 min).

Combinando-se os valores dos três parâmetros analisados, foram definidos 28 cenários, sendo 27 compostos pela combinação dos parâmetros e 1 cenário *baseline*, ou cenário 0, que não modela veículos que desejam estacionar, ou seja, não há vagas de estacionamento e todos os três parâmetros assumem o valor zero.

De acordo com os resultados obtidos, quando temos um valor menor (30%) de VPARK e VROUND, com PTIME variável, temos um aumento médio, em relação ao *baseline* de 42% no número de veículos acumulados na rede. Quando verificamos cenários com maior incidência (70%) o aumento na concentração de veículos em relação ao Cenário 0 é de 60%. O aumento na porcentagem de veículos que desejam estacionar, e que circulam uma quadra para isso, ocasiona um estrangulamento da rede. Consequentemente há uma redução de 8% nos veículos que concluem a rota em relação ao Cenário 0.

Este congestionamento tem seu maior impacto no Cenário 9 (VPARK=VROUND=70% e PTIME=2 min), onde a redução de velocidade chega a 50% e o aumento na concentração de veículos em 34% do cenário sem veículos estacionando. Nos demais cenários, variam entre 30% e 40%. Este aumento significativo na concentração e redução de velocidade dos veículos é relacionado ao aumento da quantidade de paradas.

Além disto, quando um único parâmetro comum é fixado, a análise do impacto que cada parâmetro tem é facilitada. Ao fixar VPARK, verificamos que o aumento na porcentagem destes

veículos aumenta o congestionamento de veículos. Ao fixarmos o parâmetro VROUND, observamos pouca interferência do *cruising for parking* nas medidas de atraso médio, paradas, velocidade média e congestionamento. Por outro lado, PTIME interfere no efeito de *cruising for parking*, agravando ainda mais o congestionamento quando o tempo de estacionamento é baixo (representando alta rotatividade do estacionamento). A média para PTIME em 2 minutos é de um aumento de 60% no atraso e concentração de veículos na rede.

Os resultados obtidos estão limitados à área urbana considerada da cidade de Curitiba. A calibração da simulação é fundamental para a obtenção de resultados próximos da realidade. Assim, os resultados obtidos se baseiam na calibração inicial da simulação implementada pelo IPPUC com dados de 2017. Porém, alguma generalização é possível, principalmente dos resultados que foram compatíveis com a literatura sobre a influência do número de veículos que procuram por vagas e do tempo de estacionamento.

Além disso, a definição de políticas públicas pode ser orientada pelos resultados desta dissertação. Em locais de grande volume de veículos buscando por vagas de estacionamento, a intervenção do poder público pode minimizar o impacto do *cruising for parking*. Em (SHOUP, 2006), utilizar políticas públicas para controlar o valor das tarifas de estacionamento em via pública mostra resultado positivo. Utilizar modelos de tarifas que penalizem motoristas que optem por vagas de curta duração de estacionamento e beneficiem motoristas que se mantenham estacionados por um período de tempo mais longo pode ser uma solução. Aliado às políticas públicas, a adoção do *smart parking* para identificar vagas disponíveis com antecedência, como já utilizado em shoppings e mercados, pode ser também promissor.

Para trabalhos futuros, pode-se investigar a influência da posição das vagas de estacionamento no tráfego normal de veículos. Por exemplo, há estudos na literatura que relacionam o congestionamento à proximidade das vagas de estacionamento à entrada e saída de veículos de centro comerciais. Como sugestão, a proximidade das vagas com semáforos também poderia ser investigada. Isso pode ser usado para o planejamento urbano na definição da posição das vagas de estacionamento nas vias públicas. O impacto ambiental da emissão de poluentes devido ao efeito de *cruising for parking* também poderia ser melhor avaliado. Para tanto, é necessário um modelo de emissão de poluentes baseado nos resultados da simulação. Na literatura, existem modelos de emissão de gases de efeito estufa baseados no consumo médio de combustível e distância total percorrida.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, p. 3–21, 1 2015. ISSN 1063-0732. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2014.942092>.
- BENENSON, I.; MARTENS, K.; BIRFIR, S. Parkagent: An agent-based model of parking in the city. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 32, p. 431–439, 11 2008. ISSN 01989715.
- GIFFINGER, R.; GUDRUN, H. Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? **ACE: architecture, city and environment**, Centre de Política del Sòl i Valoracions-Universitat Politècnica de Catalunya, v. 4, n. 12, p. 7–26, 2010. ISSN 1886-4805.
- GU, Z. *et al.* A macro-micro approach to modeling parking. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 147, p. 220–244, 5 2021. ISSN 01912615. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S019126152100059X>.
- HAMPSHIRE, R. C.; SHOUP, D. What share of traffic is cruising for parking? **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 52, n. 3, p. 184–201, 2018.
- IPPUC. **Estudo de tráfego: Estação Central**. Curitiba, 2017. (Relatório Técnico).
- KUMMITHA, R. K. R.; CRUTZEN, N. How do we understand smart cities? an evolutionary perspective. **Cities**, v. 67, 2017. ISSN 02642751.
- LOPEZ, C. *et al.* Microscopic simulation of cruising for parking of trucks as a measure to manage freight loading zone. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, 2019. ISSN 20711050.
- MADUSHANKA, P. H. S.; JAYARATNE, D. N. D.; PASINDU, H. R. Study of the impact roadside parking has on traffic flow characteristics - a vissim simulation based approach. In: . [S.l.]: IEEE, 2020. p. 419–424. ISBN 978-1-7281-9975-7.
- MOREIRA, R. B. *et al.* **UMA CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO MODELO "CORSIM"EM SIMULAÇÕES DE TRÁFEGO URBANO NO RIO DE JANEIRO**. 2005, 2005.
- NAJMI, A. *et al.* On-street parking management and pricing policies: An evaluation from a system enhancement perspective. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 146, p. 128–151, 4 2021. ISSN 09658564.
- PAIDI, V. *et al.* Co2 emissions induced by vehicles cruising for empty parking spaces in an open parking lot. **Sustainability**, MDPI AG, v. 14, p. 3742, 3 2022.
- P.E., F. C. an; MILAM, R. T.; STANEK, P. D. Corsim, paramics, and vissim: What the manuals never told you. **9th TRB Conference on the Application off Transportation Planning Mehods**, 2003.
- SHOUP, D. C. Cruising for parking. **Transport Policy**, Pergamon, v. 13, p. 479–486, 11 2006. ISSN 0967-070X.
- SUI, X. *et al.* Microscopic simulating the impact of cruising for parking on traffic efficiency and emission with parking-and-visit test data. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, MDPI, v. 19, 8 2022. ISSN 16604601.

TEBECHERANI, B.; MALUCELLI, F.; LÜDERS, R. Um modelo de simulação de tráfego para avaliação do efeito de “cruising for parking” na região central de Curitiba. In: **Anais do VII Workshop de Computação Urbana**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 29–39. ISSN 2595-2706. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/courb/article/view/24569>.

ZHAO, C. *et al.* Macroscopic modeling and dynamic control of on-street cruising-for-parking of autonomous vehicles in a multi-region urban road network. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 128, p. 103176, 7 2021. ISSN 0968090X.