



Universidade Federal do Piauí  
Centro de Ciências da Natureza  
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Uma nova metodologia para simulação de  
protocolos de detecção e minimização de  
congestionamentos de veículos em cenários que  
utilizam traces de tráfego**

**Sebastião Galeno Pereira Filho**

**Número de Ordem PPGCC: M001**

**Teresina-PI, Junho de 2017**



Sebastião Galeno Pereira Filho

**Uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego**

**Dissertação de Mestrado** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFPI (área de concentração: Sistemas de Computação), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação.

Universidade Federal do Piauí – UFPI

Centro de Ciências da Natureza

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Orientador: André Castelo Branco Soares

Teresina-PI

Junho de 2017

---

Sebastião Galeno Pereira Filho

Uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego/  
Sebastião Galeno Pereira Filho. – Teresina-PI, Junho de 2017-

56 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: André Castelo Branco Soares

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí – UFPI

Centro de Ciências da Natureza

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Junho de 2017.

1. redes veiculares. 2. congestionamentos de tráfego. I. André Castelo Branco Soares. II. Universidade Federal do Piauí. III. Uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego

CDU 02:141:005.7

---

**“Uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego”**

**SEBASTIÃO GALENO PEREIRA FILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada por:



Prof. André Castelo Branco Soares

(Presidente da Banca Examinadora)



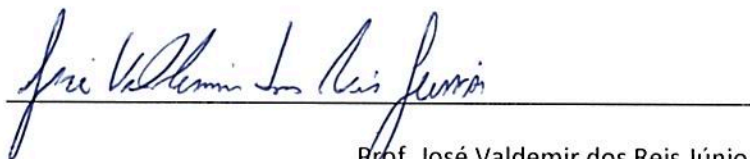
Prof. Mário Antonio Meireles Teixeira

(Examinador Externo)



Prof. André Macêdo Santana

(Examinador Interno)



Prof. José Valdemir dos Reis Júnior

(Examinador Interno)

Teresina, 23 de junho de 2017.



*Aos meus pais Sebastião Galeno Pereira e Sandra Maria Mendes Pereira,  
por todo apoio, amor incondicional e por estarem sempre comigo em todos os momentos.*





# Agradecimentos

Agradeço a Deus.

Agradeço aos meus pais, Sebastião Galeno Pereira e Sandra Maria Mendes Pereira, pelo o amor incondicional dado durante toda minha vida. Além disso, agradeço-lhes por estarem sempre ao meu lado aconselhando-me, guiando-me e apoiando-me sempre.

Agradeço à minha irmã, Fiamma Mendes Pereira, pelos momentos de paciência, alegria e todo apoio quando precisei.

Aos meus familiares, por todo carinho, apoio e conselhos dados.

Agradeço à minha namorada, Ana Maria Damasceno Cronemberger, pelo amor, carinho, apoio, conselhos e companheirismo durante toda esta etapa.

Aos meus amigos, pelo apoio dado e pela compreensão de todos os momentos que não pude estar presente durante este período.

Agradeço ao meu orientador, André Castelo Branco Soares, por todos os conselhos, pela paciência e ajuda nesse período.

À CNPQ e UFPI pelo apoio financeiro para realização deste trabalho de pesquisa.



*“Aí você se pergunta: Mas eu não sei do que eu gosto.  
Mas pare para pensar, Quantas coisas você não sabe que ama  
porque acha que tudo que existe é o que você vê?”  
(Samir Abud - YESBEFREE)*



# Resumo

O crescente número de veículos nas cidades, principalmente nos grandes centros urbanos, provoca alguns problemas de mobilidade. Um desses problemas é o congestionamento de trânsito que causa *stress* aos motoristas, grandes prejuízos financeiros para o país e prejuízos ambientais relacionados à emissão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por meio das redes veiculares, pode-se criar protocolos para auxiliar na detecção e redução de congestionamentos de tráfego, e conseqüentemente reduzir o tempo de viagem dos veículos. No estudo e avaliação de desempenho desses protocolos utiliza-se experimentos com o uso de traces de tráfego. Apesar do uso de traces ser uma ótima maneira de validar esses protocolos em redes veiculares, os experimentos podem demorar para serem concluídos e existem alguns desafios nesses experimentos que devem ser mencionados: a escolha do cenário e trace adequado, a escolha da região e faixa de tempo do trace que será simulado. Com isso, este trabalho de mestrado propõe uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego. Na metodologia proposta realiza-se divisões da área do cenário em regiões menores objetivando diminuir o tempo de simulação. Apresenta-se um estudo de caso utilizando a metodologia e observou-se que é possível diminuir o tempo de simulação de 29 horas para 55 minutos. Além disso, observou-se que um estudo de avaliação de desempenho de protocolo de detecção e minimização de congestionamentos que demorou 1 mês para concluir simulações, poderia demorar aproximadamente 24 meses sem o uso da metodologia.

**Palavras-chaves:** redes veiculares, congestionamentos de tráfego, traces de tráfego.



# Abstract

The increasing number of vehicles in cities, especially in large urban centers, causes some mobility problems. One such problem is the traffic jam that causes stress to motorists, huge financial losses to the country and environmental damages related to the emission of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Through the vehicular networks, it is possible to create applications to detect and minimize the existence of traffic jams, and consequently reduce the travel time of the vehicles. In the study and evaluation of performance of these protocols we use experiments with the use of traffic traces. Although the use of traces is a great way to validate these protocols in vehicular networks, the experiments may take time to complete and there are some challenges in these experiments that must be mentioned: the choice of the appropriate scenario and trace, the choice of region and range time of the trace to be simulated. This work proposes a new methodology to simulate protocols for the detection and minimization of vehicle congestion in scenarios that use traffic traces. In the proposed methodology it is possible to divide the area of the scenario into smaller regions in order to reduce the simulation time. A case study using the methodology is presented and it has been observed that it is possible to reduce the simulation time from 29 hours to 55 minutes. In addition, it was observed that a congestion detection and congestion minimization protocol performance evaluation study that took 1 month to complete simulations could take approximately 24 months without the use of the methodology.

**Keywords:** vehicular networks. traffic jams. traffic traces.





# Lista de ilustrações

Figura 1 – Tipos de arquitetura em redes veiculares: vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I), vehicle-to-x (V2X) . . . . .	2
Figura 2 – Evolução da frota de automóveis no Brasil - 2001 a 2014. . . . .	4
Figura 3 – Arquitetura WAVE . . . . .	12
Figura 4 – Mapa do cenário da cidade de Colônia - Alemanha. . . . .	22
Figura 5 – Mapa do cenário da cidade de Luxemburgo - Luxemburgo. . . . .	23
Figura 6 – Mapa do cenário da cidade de Bolonha - Itália. . . . .	23
Figura 7 – Fluxograma da metodologia proposta. . . . .	25
Figura 8 – Ilustração do funcionamento da estimativa do nível de congestionamento feita por um veículo ao longo de uma via congestionada. . . . .	27
Figura 9 – Quantificação do nível de congestionamento local de um veículo. . . . .	27
Figura 10 – Nível de congestionamento das vias de um cenário. . . . .	28
Figura 11 – Divisão do cenário de BolognaRingWay. . . . .	29
Figura 12 – Média do nível de congestionamento do cenário <i>BolognaRingWay</i> . . . . .	33
Figura 13 – Média do nível de congestionamento das vias do cenário <i>BolognaRingWay</i> . . . . .	33
Figura 14 – Quantidade total de veículos da simulação. . . . .	35
Figura 15 – Quantidade total de mensagens transmitidas entre os veículos. . . . .	36
Figura 16 – Quantidade total de eventos de simulação. . . . .	36
Figura 17 – Tempo de duração das simulações. . . . .	37
Figura 18 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 1. . . . .	38
Figura 19 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 1. . . . .	39
Figura 20 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 1. . . . .	40
Figura 21 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 1. . . . .	40
Figura 22 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 1. . . . .	41
Figura 23 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 2. . . . .	41
Figura 24 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 2. . . . .	42
Figura 25 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 2. . . . .	42
Figura 26 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 2. . . . .	43
Figura 27 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 2. . . . .	44
Figura 28 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 3. . . . .	44
Figura 29 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 3. . . . .	45
Figura 30 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 3. . . . .	45
Figura 31 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 3. . . . .	46
Figura 32 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 3. . . . .	46
Figura 33 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 4. . . . .	47
Figura 34 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 4. . . . .	48

Figura 35 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 4. . . . .	48
Figura 36 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 4.	49
Figura 37 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 4. . .	49

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Características dos cenários que utilizam traces de tráfego sintético. . .	23
Tabela 2 – Quantidade de mensagens transmitidas entre os veículos em cada uma das 4 regiões. . . . .	35



# Lista de abreviaturas e siglas

AODV	Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing
BSS	Basic Service Set
DSR	Dedicated Short Range Communications
FCC	Federal Communications Commission
GPS	Global Positioning System
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS	Intelligent Transport Systems
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Network
OBU	On-Board Unit
PHY	Physical Layer
OICA	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
RSU	Road-Side Unit
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Definição do Problema	3
1.2	Motivação	4
1.3	Objetivos	5
1.4	Visão geral da metodologia	5
1.5	Publicações	6
1.6	Organização da Dissertação	6
<b>2</b>	<b>REDES VEICULARES</b>	<b>9</b>
2.1	Visão Geral	9
2.2	Características Principais	10
2.3	Padrões de Comunicação	11
2.4	Aplicações	14
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DE PROTOCOLOS</b>	<b>17</b>
3.1	Introdução	17
3.2	Protocolos de Detecção e Minimização de Congestionamentos de Veículos	18
3.3	Traces de Mobilidade Veicular	20
3.4	Metodologia Proposta	24
3.4.1	Processo de Escolha do Cenário	25
3.4.2	Processo de Divisão do Cenário	28
3.5	Considerações Finais do Capítulo	29
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>31</b>
4.1	Introdução	31
4.2	Cenário de Bolonha	32
4.3	Tempo de simulação	34
4.4	Avaliação de Desempenho do Protocolo DMCV	37
4.4.1	Região 1	38
4.4.2	Região 2	40
4.4.3	Região 3	43
4.4.4	Região 4	47
4.5	Considerações sobre o Estudo de Caso	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>51</b>

**REFERÊNCIAS** ..... 53



# 1 Introdução

O aumento da concentração de pessoas nas cidades, principalmente em regiões metropolitanas, e o conseqüente aumento do uso dos veículos automotores têm resultados negativos para a sociedade. Estes fatores resultam em uma baixa qualidade de vida para os condutores e pedestres, bem como prejuízos ambientais relacionados à emissão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e prejuízos econômicos (VASCONCELLOS, 2014). Segundo a Fundação Getúlio Vargas, o desperdício de recursos por causa dos congestionamentos na cidade de São Paulo ultrapassou os R\$ 40 bilhões por ano (CINTRA, 2013).

De acordo com uma pesquisa (TOMTOM, 2016) realizada pelo software de navegação *TomTom GO* no ano de 2016, estima-se que o custo do tráfego para o Brasil é de aproximadamente R\$ 170 bilhões. Atualmente, São Paulo é a cidade mais afetada com esses congestionamentos, apresentando um prejuízo igual ao dobro do ano de 2013: R\$ 80,2 bilhões. Além do trânsito congestionado batendo recordes, diariamente a velocidade média fica em 25km/h, sendo difícil superar essa média, pois a cada dia novos carros estão em circulação e o rodízio já é ineficaz perante a demanda existente.

Para auxiliar na identificação e redução de congestionamentos no tráfego veicular, são propostos Sistemas Inteligentes de Trânsito (ITS - *Intelligent Transport Systems*). Os ITS utilizam um conjunto de tecnologias de processamento de informação, comunicação, sensoriamento e navegação. Esses sistemas visam a melhoria do gerenciamento do sistema de transportes, a gestão do tráfego, o aumento da mobilidade e a redução dos custos sociais através da diminuição dos tempos de espera no trânsito e dos impactos ambientais (DARIDO; PENA, 2012). De maneira geral, os ITS devem prover uma ligação inteligente entre os usuários dos sistemas de transportes, veículos e infraestrutura.

As Redes Veiculares, conhecidas como VANETs (*Vehicular Ad Hoc Networks*) são redes dinâmicas, não estruturadas, auto-organizáveis, com características assíncronas e distribuídas, cujo principal objetivo é oferecer suporte de comunicação às aplicações dos Sistemas Inteligentes de Transporte (CAMBRUZZI et al., 2013). As Redes Veiculares permitem a troca de informações entre veículos (Arquitetura V2V - *Vehicle-to-Vehicle*), e entre veículos e infraestruturas localizadas às margens das vias (Arquitetura V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*), existindo a possibilidade do uso desses dois tipos de comunicações em uma mesma rede (Arquitetura V2X) (ALVES; CAMPBELL; COUTO, 2009). A Figura 1 ilustra esses três tipos de arquitetura: V2V, V2I e V2X.

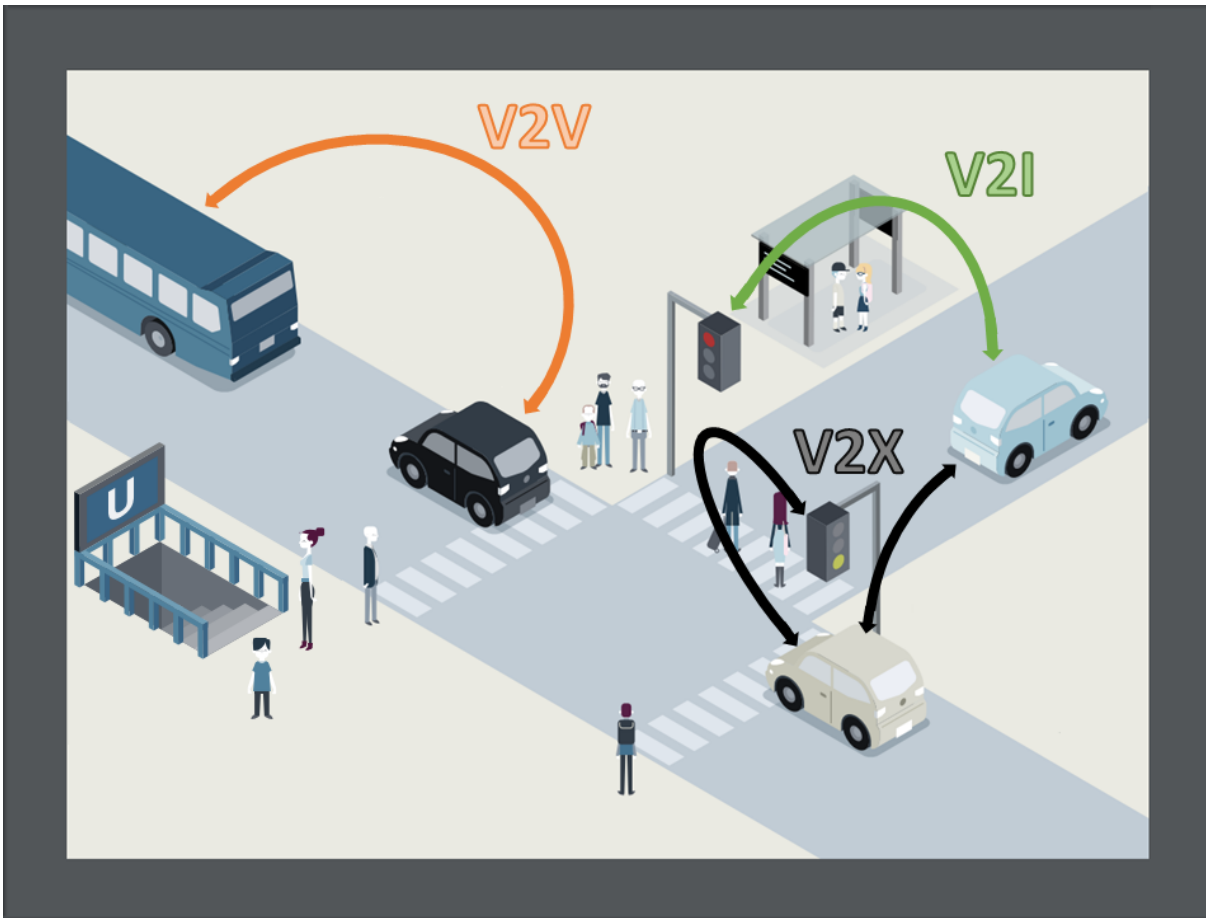


Figura 1 – Tipos de arquitetura em redes veiculares: vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I), vehicle-to-x (V2X)

Por meio de aplicações em Redes Veiculares, pode-se gerenciar os congestionamentos de tráfego existentes e conseqüentemente reduzir o tempo de viagem dos veículos. Isso é possível por meio da troca de informações sobre os estados de um veículo (identificador, velocidade, posição geográfica, etc) para os demais veículos ou infraestruturas onde a comunicação seja possível. As soluções para detecção e minimização de congestionamentos devem ser validadas por meio de experimentos de avaliação de desempenho em um ambiente real ou o mais próximo do real possível. Dessa maneira, pode-se ratificar a eficiência e o bom funcionamento dessas soluções para que possam ser utilizadas futuramente pela sociedade.

Realizar uma avaliação de desempenho de aplicações para minimização de congestionamentos que utilizam redes veiculares representa um grande desafio. Isto acontece porque as simulações desse tipo de aplicação necessita de cenários e traces realísticos adequados para alcançar os resultados próximos a de um ambiente real. Além da dificuldade para obter cenários e traces adequados para o estudo de congestionamentos de veículos, simular tais cenários demandam um tempo muito longo. No trabalho desenvolvido em (SOUSA, 2016), foi necessário algumas semanas de duração para concluir os experimentos

de simulação.

## 1.1 Definição do Problema

Por meio das tecnologias de comunicação entre veículos, pode-se implementar aplicações para melhorar a mobilidade do tráfego urbano. Através dessas aplicações é possível contribuir com uma melhor qualidade de vida para os motoristas, assim como diminuir prejuízos ambientais e econômicos já citados anteriormente. Assim, faz-se necessário a implementação de aplicações que possam monitorar e controlar o tráfego de maneira eficiente.

Para atestar que uma aplicação é eficiente e pode ser utilizada por milhões de motoristas, é preciso certificar-se que esta aplicação funciona, validando-a por meio de experimentos mais próximos de um ambiente real. Os experimentos podem ser de três tipos: reais, emulados e simulados. Os experimentos reais não têm sido muito utilizados devido ao alto custo e complexidade de serem realizados. Os experimentos emulados são menos utilizados por não se aproximarem tanto de um ambiente real. Enquanto os experimentos com simulações são os mais utilizados pela comunidade científica para validar suas aplicações. Isso acontece porque as simulações apresentam um baixo custo de implantação e desenvolvimento.

Assim, os experimentos mais utilizados para validar aplicações de detecção e minimização de congestionamentos de tráfego em redes veiculares têm sido as simulações com cenários de larga escala que utilizam traces de tráfego. Os cenários de larga escala são cenários que utilizam, nas simulações, mapas com áreas de uma cidade real (NOORI; VALKAMA, 2013). O trace de tráfego é um conjunto de dados de mobilidade veicular da área de uma cidade e contém todo o fluxo de veículos com todas as suas características monitoradas ao longo do tempo (UPPOOR et al., 2014) (BEDOGNI et al., 2015). Os experimentos de simulação que utilizam esses cenários e traces demoram tempo proporcional à quantidade de eventos de simulação.

Nos protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos (DMCV) são realizadas muitos eventos de trocas de mensagens entre os nós da rede. Um crescimento nessa quantidade de eventos aumenta o tempo de simulação, podendo demorar várias semanas para terminar (SOUSA, 2016). Além disso, é imprescindível que o cenário e o trace de tráfego a serem utilizados sejam apropriados para o estudo de protocolos DMCV. Torna-se inviável realizar experimentos com todos os diferentes cenários e traces disponíveis, objetivando encontrar os mais adequados para realizar os experimentos para este tipo de aplicação.

Diante disso, faz-se necessário o estudo de alternativas para viabilizar avaliações de desempenho de redes veiculares em cenários de larga escala que utilizam traces. Por

isso, o foco desta pesquisa é propor uma nova metodologia para simulação de protocolos DMCV em cenários que utilizam traces de tráfego. Esta metodologia visa diminuir o tempo de simulação necessário para realizar os experimentos de avaliação de desempenho dos protocolos DMCV. Além disso, objetiva-se identificar as melhores áreas geográficas do cenário e melhores janelas de tempo do trace para serem utilizados nesses experimentos.

## 1.2 Motivação

Além de todo o interesse acadêmico e comercial existente em relação às redes veiculares, alguns dados estatísticos reforçam a previsão de crescimento dessas redes. Segundo estatísticas da Organização Internacional dos Fabricantes de Automóveis (OICA), a tendência da frota mundial de veículos é continuar crescendo. No Brasil, por exemplo, a frota de automóveis teve um crescimento de aproximadamente 76% entre os anos de 2001 e 2014, correspondendo hoje a uma frota superior a 56,9 milhões (RODRIGUES, 2015). Vale ressaltar que, de todo o crescimento ocorrido nesses anos, houve um aumento 3,2 milhões de automóveis ocorreram apenas em 2014. A Figura 2 mostra a evolução da frota de automóveis em números absolutos de acordo com os dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015).

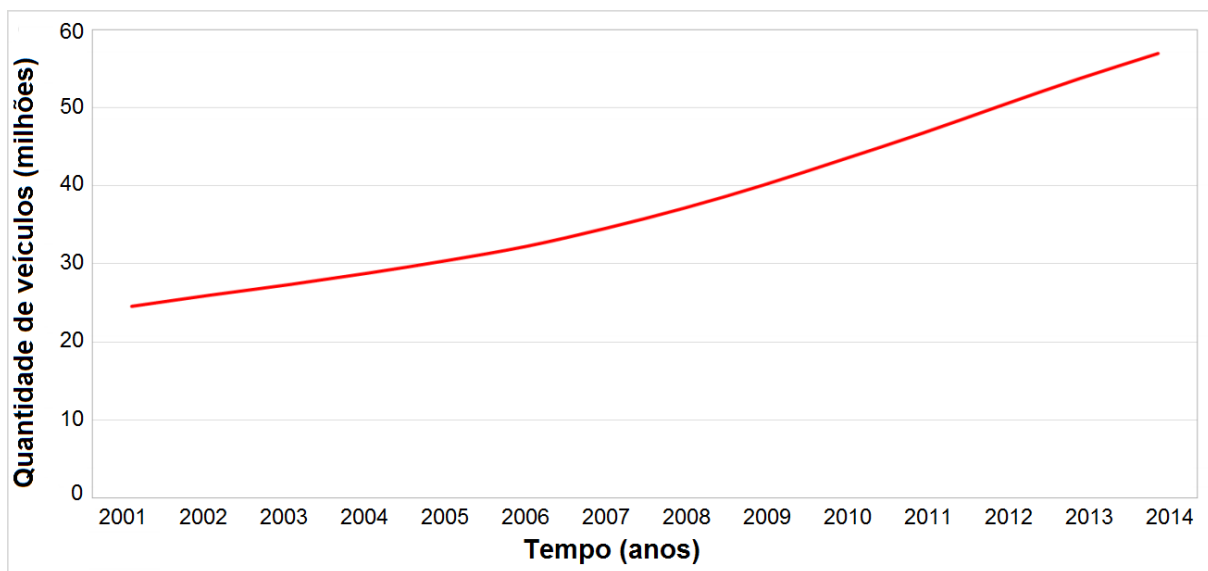


Figura 2 – Evolução da frota de automóveis no Brasil - 2001 a 2014.

O crescimento da frota mundial de veículos ocasionará um aumento do número de congestionamentos nos grandes centros urbanos e conseqüentemente maiores prejuízos econômicos e ambientais. Um protocolo DMCV em redes veiculares pode ser uma aplicação valiosa para reduzir a formação de congestionamentos e os prejuízos causados por eles. Contudo, esta aplicação deve ser validada em cenários reais para garantir sua eficiência em resolver ou diminuir o problema de congestionamentos de tráfego urbano.

Os trabalhos que utilizam experimentos de avaliação e desempenho de protocolos DMCV por meio de simulações são mais utilizados, se comparado aos trabalhos que tentam utilizar experimentos reais. Isto ocorre pela dificuldade em realizar experimentos com uma grande quantidade de veículos. Além disso, existe todo o hardware e software necessário para validar uma aplicação de grande escala, como os protocolos DMCV, em um cenário puramente real.

Apesar de existir a alternativa de utilizar traces de tráfego em simulações, existe algumas desvantagens que devem ser consideradas. Uma delas é o tempo de simulação para concluir os experimentos realizados, variando de acordo com a quantidade eventos e complexidade de cada aplicação. Outra desvantagem é não saber entre os diferentes traces de tráfego de cidades e áreas disponíveis, qual é o mais adequado pra validar determinado tipo de aplicação em um tempo hábil.

No trabalho de mestrado desenvolvido em (SOUSA, 2016) foi realizada uma tentativa de utilizar o cenário de Luxemburgo para a avaliação de desempenho de um protocolo de detecção e minimização de congestionamentos. Neste trabalho, foram necessários 21 dias para concluir apenas uma das simulações mesmo usando um computador com 32 núcleos. Portanto, nota-se a dificuldade e tempo necessário para realizar simulações em cenários de larga escala.

O uso de uma metodologia que vise diminuir o tempo de simulação de protocolos DMCV em cenários que utilizam traces pode minimizar este problema. Assim, seria possível auxiliar e promover o avanço em várias pesquisas de redes veiculares que estudam o problema de congestionamentos de veículos. Conseqüentemente, esses experimentos utilizando traces de tráfego poderão auxiliar no processo de popularização das VANETs, tornando-as realidade no dia a dia das pessoas em futuro próximo.

## 1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é propor uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego. Com este trabalho pretende-se colaborar com a comunidade científica, identificando as melhores áreas geográficas do cenário, melhores janelas de tempo do trace e, principalmente, diminuindo o tempo de simulação nos experimentos com esse tipo de protocolos.

## 1.4 Visão geral da metodologia

Nessa seção, apresenta-se uma visão geral da metodologia proposta neste trabalho de mestrado. O processo seguido pela metodologia proposta acontece por meio de divisões

sucessivas da área do cenário e trace de tráfego a ser estudado.

Inicialmente, escolhe-se um cenário e analisa-o para verificar se este é adequado ou não para o estudo de protocolos DMCV. Para que o cenário seja adequado, nele deve existir a formação de congestionamentos em algum momento do trace analisado. O cenário sendo adequado, então é realizado o segundo passo da metodologia: a divisão do cenário em regiões. Assim, divide-se o cenário em duas partes iguais e analisa-se a redução da quantidade de rotas geradas pra cada nova região e o tamanho das novas regiões. Caso seja possível, continua-se o processo de divisão do cenário. Caso contrário, escolhe-se a última divisão feita no cenário para realizar as simulações.

No capítulo 3 é explicado com mais detalhes o funcionamento da metodologia proposta, discutindo sobre como é realizado os processo de escolha e divisão do cenário.

## 1.5 Publicações

Durante o período de desenvolvimento do trabalho de mestrado, foram estudados problemas que envolvem a detecção e minimização de congestionamentos de tráfego urbano. Estes estudos proporcionaram desenvolvimento de um capítulo de livro e dois artigos científicos. Seguem abaixo as publicações em ordem cronológica:

- No ano de 2015, foi desenvolvido e escrito um capítulo de livro sobre simulação em redes veiculares para um livro de minicursos da Escola Regional de Informática do Piauí (ERUPI - 2015)
- No ano de 2016, foi escrito e publicado um artigo intitulado de “Impacto do uso de rsus no controle de congestionamentos de tráfego para redes veiculares V2V” Escola Regional de Informática do Piauí (ERUPI - 2016).
- O artigo “Um protocolo para controle de congestionamentos de tráfego baseado em redes veiculares V2V” foi escrito e publicado também no ano de 2016 no Simpósio Latino-Americano de Infraestrutra, Hardware e Software (SLIHS - CLEI 2016).

## 1.6 Organização da Dissertação

O restante desta Dissertação está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 traz uma visão geral sobre Redes Veiculares abordando as suas principais características e aplicações. Apresentam-se os padrões de Redes Veiculares e detalha-se a arquitetura WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*). O Capítulo 3 descreve detalhadamente a metodologia proposta para simulação de protocolos DMCV em cenários que utilizam traces sintéticos. No Capítulo 4, é realizado um estudo de caso utilizando a metodologia proposta.

Além disso, é feita uma avaliação de desempenho de um protocolo DMCV utilizando a metodologia no cenário e trace da cidade de Bolonha - Itália. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões da dissertação e possíveis trabalhos futuros.





## 2 Redes Veiculares

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos, características e tipos de aplicações existentes relacionados às redes veiculares. A Seção 2.1 apresenta uma visão geral sobre as redes veiculares. A Seção 2.2 descreve as principais características das redes veiculares. A Seção 2.3 apresenta os padrões de comunicação em redes veiculares. Por fim, na Seção 2.4 é descrito como são divididas as aplicações em redes veiculares, exemplificando cada uma dessas aplicações.

### 2.1 Visão Geral

As redes veiculares (VANETs - *Vehicular Ad hoc NETWORKS*) são um tipo especial de rede móvel ad hoc (MANET, *Mobile Ad hoc NETWORK*) cuja principal característica é a capacidade dos veículos comunicarem entre si. Essas redes vêm evoluindo tecnologicamente e adotando sistemas de comunicação que possibilitam a interação entre os diferentes veículos que as compõem. O objetivo principal é garantir, de forma satisfatória, a comunicação entre os diversos usuários móveis inseridos na rede, oferecendo as condições necessárias para que aplicações, com diferentes requisitos, sejam atendidas. Essa comunicação é feita com o auxílio dos veículos capazes de enviar, receber, armazenar e encaminhar os pacotes pela rede.

Uma rede veicular pode ser formada entre veículos (comunicação V2V - *Vehicle-to-Vehicle*), entre veículos e dispositivos de infraestrutura (comunicação V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*) ou um modo híbrido com comunicações V2V e V2I, denominado comunicação V2X (ALVES; CAMPBELL; COUTO, 2009) (ALVES et al., 2008). Os dispositivos instalados nos veículos são conhecidos por unidades de bordo (OBU, *On-board unit*) e os que ficam ao longo da estrada ou às margens das vias são denominados unidades de acostamento (RSU, *Road-side unit*). É por meio desses dispositivos que as comunicações são realizadas dentro de uma rede veicular.

As redes veiculares possuem características particulares que trazem dificuldades para a comunicação sem fio e representam desafios para a adoção dessas redes em larga escala. Algumas dessas características são: a alta mobilidade dos nós, mudanças constantes na topologia da rede, a existência de redes densas que ocasionam altas taxas de perdas de pacotes por congestionamento na rede e a existência de redes esparsas que dificultam a disseminação de informações (ALVES; CAMPBELL; COUTO, 2009). Essas características fazem com que protocolos existentes para outros tipos de redes não sejam adequados para as redes veiculares.

## 2.2 Características Principais

As redes veiculares possuem suas particularidades que as diferenciam das outras redes e influenciam diretamente no desenvolvimento de seus protocolos e serviços. As principais características das redes veiculares podem ser observadas por meio da sua arquitetura, recursos, mobilidade dos nós, dinamicidade da rede, conectividade da rede e seus diferentes cenários.

**Arquitetura:** Nas redes veiculares, a comunicação pode ser feita de três formas diferentes: comunicação entre veículos (arquitetura V2V), comunicação entre veículos e infraestruturas (arquitetura V2I) ou comunicação híbrida (arquitetura V2X). A arquitetura V2V é caracterizada pela descentralização das funções na rede, em que os veículos se comunicam entre si sem qualquer infraestrutura centralizadora auxiliando externamente. Porém, a sua desvantagem está na conectividade da rede que depende da densidade e da mobilidade dos veículos. A arquitetura V2I possui nós estáticos funcionando como pontos de acesso na rede, chamados de RSUs. Nesse tipo de arquitetura a conectividade da rede veicular pode aumentar através de comunicação com outras redes, contudo, o custo de implantação também aumenta, pois há necessidade de RSUs espalhadas pelas estradas e/ou rodovias. A arquitetura híbrida, caracterizada pela existência dos dois tipos de comunicações. Esse tipo de arquitetura utiliza as infraestruturas para obter o melhor das duas arquiteturas, como por exemplo, aumentar a conectividade da rede.

**Recursos:** Considera-se que VANETs possuem recursos energéticos e computacionais suficientes para as aplicações desenvolvidas, ao contrário das MANETs. O consumo de energia normalmente é um fator crítico nas operações com redes móveis como as MANETs porque os nós são dispositivos sem fio, alimentados por baterias cujas capacidades de armazenamento são limitadas devido às restrições de volume e peso dos equipamentos. No entanto, as redes veiculares possuem a vantagem de terem disponível uma maior fonte de energia. As baterias dos veículos são recarregadas continuamente, oferecendo assim às aplicações uma grande fonte de energia. Outro diferencial das redes veiculares é o tamanho e o peso dos nós, pois os veículos possuem tamanho e peso muito maior que os nós de outras redes sem fio. Esses fatores combinados ao longo tempo de vida das baterias, permitem um suporte computacional de alto nível por meio do uso de maiores componentes nos veículos com uma grande capacidade de processamento e armazenamento.

**Mobilidade dos Nós:** Nas redes veiculares, diferentemente das MANETs tradicionais, os nós de uma VANET não se movimentam de maneira aleatória. A movimentação dos veículos é limitada dentro de vias de tráfego existentes e sob a regência de leis de circulação que definem, por exemplo, o sentido do movimento e a velocidade máxima permitida. Sendo assim, essas características tornam o modelo de mobilidade para redes veiculares único e particular.

**Dinamicidade da Rede:** Devido à alta mobilidade aliada a grandes velocidades dos nós em uma rede veicular, a topologia da rede pode ser alterada rápida e frequentemente. Assim, descobrir uma rota do nó origem até o nó destino pode ser difícil. Muitos protocolos de roteamento tradicionais desenvolvidos para MANETs, como o OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) (CLAUSEN; JACQUET, 2003), AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing) (PERKINS; BELDING-ROYER; DAS, 2003), DSR (Dedicated Short Range Communications) (BROCH; JOHNSON; MALTZ, 2003), não funcionam adequadamente em redes com alto nível de mobilidade cujas desconexões são mais frequentes e em que a tolerância a longos atrasos deve ser considerada.

**Conectividade da Rede:** A conectividade da rede é dependente de fatores como sua densidade em determinada área, a velocidade de deslocamento dos veículos, o sentido desse deslocamento e o raio de alcance dos dispositivos instalados nesses veículos. Assim, da mesma forma que podem existir áreas nas quais um veículo mantém um grande número de conexões (rede densa), também é possível a formação de ilhas de conexão em certos pontos (rede esparsa). A existência de redes densas ocasionam altas taxas de perdas de pacotes por congestionamento na rede e a existência de redes esparsas dificultam a disseminação de informações. Portanto, essa é uma outra característica muito importante das redes veiculares.

**Cenários:** Uma característica particular das redes veiculares é a diversidade de cenários. Em geral, os cenários de redes veiculares são classificados em urbano, rural e rodovia (OLARIU; WEIGLE, 2009). Em ambientes urbanos, a densidade de veículos pode favorecer a comunicação de múltiplos saltos, graças à menor mobilidade dos nós. Entretanto, isso varia de acordo com o horário, pois em algumas horas do dia, o tráfego de veículos pode ser baixo, porém, nos horários de pico, o número de carros nas vias cresce consideravelmente. Em um ambiente rural, a densidade de veículos esperada é baixa, o que resulta em uma rede com conectividade intermitente. Isso significa que a rede é particionada em pequenos grupos de veículos que não conseguem se comunicar diretamente. Em um cenário de rodovia, o padrão de mobilidade é bem diferente dos outros cenários porque os veículos podem em geral trafegar em alta velocidade sem cruzamentos e sinais de trânsito. Este cenário é aparentemente mais simples que os demais, mas o fato de dois veículos se cruzarem em alta velocidade torna a comunicação nesse cenário difícil.

## 2.3 Padrões de Comunicação

Várias iniciativas têm sido desenvolvidas a fim de padronizar e otimizar a comunicação entre os veículos. Em 1999, a FCC (*Federal Communications Commission*) alocou 75 MHz na banda de 5,9 GHz para DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) em VANETs (FCC, 1999) e no ano de 2008, o Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações

alocou 30 Mhz do espectro de frequências na mesma faixa para ITS (ETSI, 2008). Desde o ano de 2004, o IEEE iniciou a padronização das comunicações em redes veiculares através do grupo de trabalho IEEE 802.11, desenvolvendo uma família de padrões para redes veiculares chamada 802.11p *Wireless Access no Vehicular Environment* (WAVE) (IEEE. . . , 2014). Em 2010 o grupo terminou o padrão 802.11p WAVE que descreve a comunicação em VANETs. O padrão 802.11p, que é baseado no padrão de redes locais 802.11a, define a camada física, bem como os protocolos de controle de acesso ao meio. Enquanto isso, os demais padrões definem os formatos de mensagem, a atribuição de canais para cada tipo de aplicação, bem como os aspectos de gerenciamento e segurança. A arquitetura WAVE é composta por duas categorias de padrões: (i) IEEE 802.11p para as camadas PHY e MAC (ii) IEEE 1609 para a segurança, gestão da rede, bem como outros aspectos da VANETs. A Figura 3 apresenta a arquitetura WAVE.

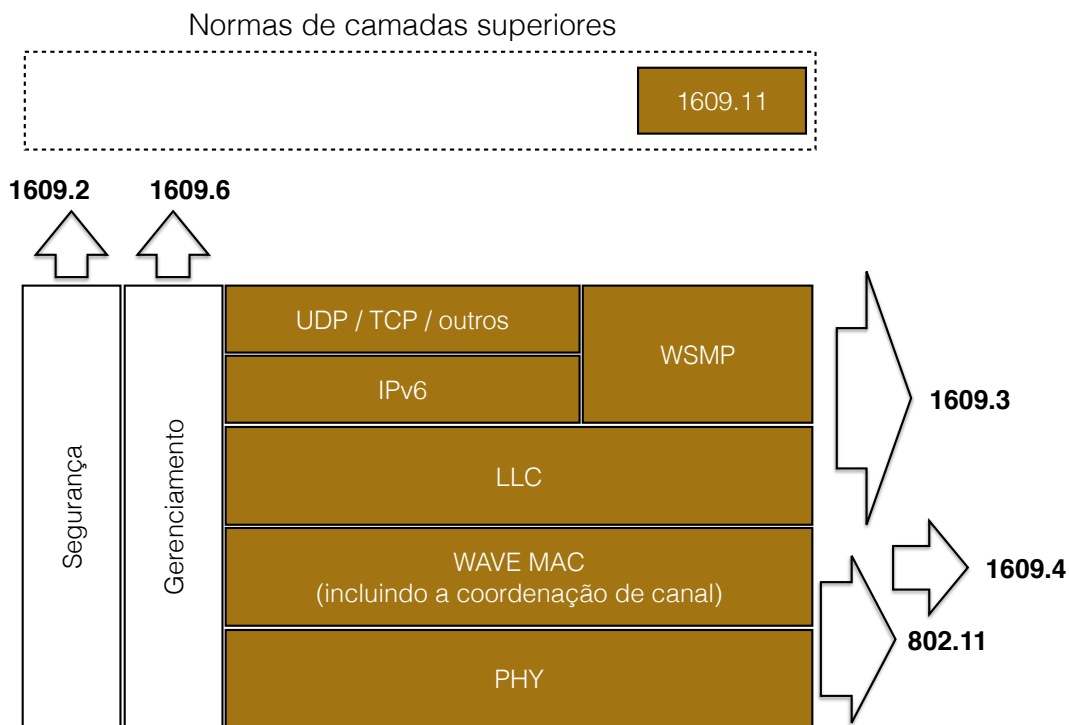


Figura 3 – Arquitetura WAVE. Figuta retirada de (SOUSA; SOARES, 2015)

As principais alterações no 802.11p, quando comparado com o tradicional 802.11a são descritos como segue (JIANG; DELGROSSI, 2008). Na camada MAC, a sobrecarga para estabelecer uma comunicação foi reduzida, devido ao curto período de contato entre os veículos. No tradicional 802.11 (CROW et al., 1997), dispositivos conectados através de um ponto de acesso definem um grupo chamado de IBSS (*Independent Basic Service Set*), que deve ser identificado quando uma conexão é estabelecida. Por outro lado, 802.11p define um novo tipo de BSS chamado WBSS (WAVE BSS), que tem um identificador fixo e transmite beacons por demanda. Um beacon contém as informações essenciais

para estabelecer uma comunicação, assim como a lista de serviços oferecidos pelo grupo, eliminando o processo de autenticação. Finalmente, a fim de eliminar a necessidade de varrer os canais, a fim de encontrar a rede desejada, as funções de cada canal são fixas.

A banda do espectro reservado para 802.11p está dividido em sete de dez canais MHz, numerados entre 172 e 184. Canal 178 é destinado a informações de controle, e é restrito a aplicações de segurança (FCC et al., 2002). Os outros canais são atribuídos para a transmissão de dados a partir de diferentes serviços. Há também dois canais dedicados para aplicações críticas como segurança de vida e segurança pública. A camada física é baseado no padrão 802.11a e usa OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). A largura de banda foi mudada de 20 MHz a 10 MHz (CHENG et al., 2008), a fim de reduzir o atraso de propagação em VANETs. Opcionalmente, a largura de banda pode ser fixada em 5MHz. Além disso, melhorias de desempenho reduzem a quantidade dos danos causados pela interferência entre canais adjacentes. A norma fornece comunicação em distâncias teóricas de até 1000 m, tanto em arquiteturas V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) e V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), com velocidades absolutas e relativas de até 30 m/s (108 km/h) em diversos ambientes (rural, rodovia, urbano). Com 10 canais de largura de banda MHz, a taxa de bits esperada é entre 3 e 27 Mbps, enquanto que com os canais de largura de banda de 5 MHz ou 20 MHz a taxa de bits máxima é de 13,5 Mbps e 54 Mbps, respectivamente.

O principal objetivo do padrão IEEE 802.11p WAVE é prover um conjunto padronizado de interfaces para que diferentes fabricantes de automóveis possam prover comunicação entre veículos ou entre veículos e infra-estrutura, visando um transporte seguro, eficiente e sustentável para que possam aumentar o conforto e conveniência do usuário (JIANG; DELGROSSI, 2008). A nomenclatura WAVE é a mais utilizada atualmente para se referenciar à comunicação veicular. A arquitetura WAVE referencia alguns dos documentos publicados pelo grupo de trabalho para padronização da arquitetura, tais como:

- ***IEEE Std 802.11-2012, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications***

Especifica uma subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e várias camadas físicas (PHYs). O IEEE Std 802.11p-2010 está incorporado ao IEEE Std 802.11-2012 e especifica um conjunto de extensões para o IEEE Std 802.11-2012 operar fora de um contexto de um conjunto de serviços básicos (BSS).

- ***IEEE Std 1609.2-2013, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Security Services for Applications and Management Messages***

Especifica serviços de segurança para aplicações e para mensagens de gerenciamento.

- ***IEEE Std 1609.3-2010, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services***

Especifica serviços de rede requeridos para a operação de um sistema WAVE e inclui as seguintes características: 1) protocolo *WAVE Short Message*, *WAVE Service Advertisements* e 3) agendamento de canais.

- ***IEEE Std 1609.4-2010, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation***

Especifica extensões para o protocolo da camada MAC IEEE 802.11 tais como: 1) temporização e comutação de canal e 2) uso do IEEE 802.11 fora do context de um BSS.

- ***IEEE Std 1609.11-2010, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS)***

Primeiro protocolo da camada de aplicação do padrão IEEE 1609. Especifica um protocolo de pagamentos para, por exemplo, cobranças eletrônicas.

## 2.4 Aplicações

As redes veiculares têm sido foco de muitas pesquisas científicas nos últimos anos, onde o principal foco é o desenvolvimento do Sistema Inteligente de Transporte. Além disso, devido aos automóveis serem cada vez mais importantes na vida das pessoas, embarcar softwares inteligentes em seus carros pode melhorar substancialmente a qualidade de vida dos motoristas. Esse fato, somado à significativa demanda do mercado por mais confiabilidade, segurança e entretenimento nos veículos, levou ao desenvolvimento e suporte para as redes veiculares e suas aplicações. As aplicações de redes veiculares são normalmente classificadas em (i) aplicações de segurança no trânsito, (ii) aplicações de eficiência e de gestão de tráfego, e (iii) aplicações de conforto e entretenimento (ALVES; CAMPBELL; COUTO, 2009) (WANGHAM et al., 2014).

A primeira categoria destina-se a evitar o risco de acidentes de carro e prover uma condução mais segura através da distribuição de informações sobre os perigos e obstáculos. A ideia básica é ampliar o alcance de percepção do motorista, permitindo que ele possa reagir muito mais rápido, graças aos alertas recebidos por meio de comunicações sem fio. A

segunda categoria foca na otimização de fluxos de veículos, reduzindo o tempo de viagem e evitando situações de engarrafamento. Aplicações como orientação de melhores rotas e programação de semáforos otimizada, destinam-se a otimizar rotas, proporcionar uma redução das emissões de gases e o consumo de combustível. Finalmente, embora o objetivo principal de VANETs seja permitir a implementação de aplicações de segurança, outros tipos de aplicações são esperadas para criar oportunidades comerciais através do aumento do número de veículos equipados com dispositivos sem fio. As aplicações de conforto e entretenimento tem como objetivo proporcionar ao viajante suporte à informação e entretenimento para tornar a viagem mais agradável.

Uma categoria que têm sido bastante pesquisada são as aplicações relacionadas à detecção e minimização de congestionamento de veículos, sendo alvo de muitos trabalhos científicos (SILVA et al., 2013), (JÚNIOR et al., 2013), (SILVA et al., 2014), (AISSAOUI et al., 2014), (ARAÚJO et al., 2014), (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014), (ARAÚJO et al., 2014), (BRITO et al., 2014), (BRITO et al., 2015), (GARIP et al., 2015) e (SOUSA; SOARES, 2015). Essas aplicações possuem como objetivo transmitir informações de condições do tráfego para unidades gestoras de trânsito ou informar diretamente veículos sobre as melhores rotas a serem escolhidas visando a redução dos congestionamentos e conseqüentemente a redução nos tempos de viagem. Com uso desse tipo de aplicações será possível diminuir os prejuízos econômicos e ambientais. Entretanto, para conseguir alcançar esses objetivos e desfrutar das futuras vantagens é necessário validar a aplicação desenvolvida por meio de experimentos.





## 3 Metodologia para Simulação de Protocolos de Detecção e Minimização de Congestionamentos de Veículos

Neste capítulo, é discutido sobre a proposta de trabalho desenvolvida durante o mestrado. São apresentados os tipos de experimentos de simulação para avaliar o desempenho de protocolos DMCV em redes veiculares e alguns dos protocolos DMCV presentes na literatura. Na Seção 3.3, discute-se sobre os traces de mobilidade veicular, detalhando três cenários de traces sintéticos. Em seguida, apresenta-se a metodologia proposta para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos (DMCV). Por meio dessa metodologia, objetiva-se tratar o problema do tempo de simulação dos protocolos DMCV em cenários que utilizam traces de tráfego. Por fim, são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

### 3.1 Introdução

Áreas urbanas de diferentes tamanhos têm experimentado cada vez mais congestionamentos de veículos. Os problemas que os motoristas enfrentam são diversos, como o tempo extra de viagem, o custo do combustível desperdiçado e a perda de produtividade (SCHRANK; EISELE; BAK, 2015). Além do impacto negativo ocasionado na economia, os congestionamentos de trânsito prejudicam áreas como saúde e meio ambiente.

Uma das formas apontadas para reduzir este problema é o uso dos Sistemas Inteligentes de Transportes (AISSAOUI et al., 2014). Esses sistemas utilizam tecnologias como: Sistema de Posicionamento Global (GPS), câmeras de vídeos, sensores e comunicação sem fio. Dentre estas tecnologias, a comunicação sem fio no ambiente veicular vem ganhando destaque na comunidade científica. Este tipo de comunicação forma as redes veiculares.

Diversos protocolos para a detecção e minimização de congestionamentos baseados na comunicação entre veículos vêm sendo propostos. Contudo, para que esses protocolos sejam validados é necessário realizar estudos de avaliação de desempenho e compará-los à outras soluções similares. Esses estudos podem ser feitos utilizando diferentes técnicas. No Capítulo 2, discutiu-se sobre os três diferentes tipos de experimentos que têm sido utilizados na literatura. Sendo os três tipos de experimentos: real, emulação e simulação.

No primeiro tipo de experimento, em redes veiculares, são necessários diversos tipos de equipamentos, dependendo do tipo de aplicação que se deseja validar, além da necessidade dos próprios veículos. Apesar dos experimentos reais serem a melhor forma

de garantir a eficiência de uma aplicação, é um processo de alto custo e muita das vezes inviável dependendo da complexidade da aplicação.

O segundo tipo de experimento é feito por meio de softwares, em diferentes hardwares, que tentam reproduzir as funções de um determinado sistema em um ambiente diferente. Esse tipo de experimento, apesar de ser mais econômico que um experimento real, quase não é utilizado para validar aplicações em redes veiculares. Isto acontece por causa da grande quantidade de variáveis que devem ser implementadas e analisadas nos experimentos.

Por fim, o terceiro tipo são os experimentos de simulação. Nesses experimentos, é possível realizar simulações utilizando traces de tráfego real ou sintético. Dessa maneira, é possível realizar experimentos realísticos e com menores custos. Porém existem algumas desvantagens no uso de traces, por exemplo, o longo tempo de simulação e os diferentes tipos de cenários que podem não ser adequados para avaliar o uso de determinada aplicação. Apesar disso, as simulações têm sido o tipo de experimento mais viável e mais utilizado para avaliar e validar as diferentes aplicações em redes veiculares.

## 3.2 Protocolos de Detecção e Minimização de Congestionamentos de Veículos

Nesta seção são apresentados alguns protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos presentes na literatura. Diversas soluções vêm sendo propostas abordando esse tema utilizando redes veiculares. De maneira geral, tais soluções têm algumas características: realizam estimativa dos níveis de congestionamento, divulgam informações das condições de tráfego, e algumas realizam minimização, predição ou prevenção de congestionamentos. Entretanto, esses mesmos trabalhos apresentam formas diferentes de avaliarem o desempenho de suas respectivas soluções.

Em (SILVA et al., 2014) é proposto um sistema de monitoramento de tráfego para estimar a chegada dos ônibus, usando redes IEEE 802.11, chamado WiBus. Este sistema utiliza localização por proximidade em relação a roteadores sem fio, caracterizando um sistema baseado em redes veiculares com comunicações V2I. Para testar o WiBus, foi montado um pequeno protótipo no laboratório, onde os diferentes elementos da arquitetura são emulados. Foram realizados dois experimentos. No primeiro experimento avaliou-se a quantidade máxima de ônibus que o sistema seria capaz de rastrear e calcular as estimativas. No segundo teve o objetivo de avaliar os erros das estimativas calculadas pelo WiBus. Neste trabalho realizou-se experimentos de emulação para avaliar o desempenho da solução, contudo nesse tipo de experimento não é levado em consideração algumas variáveis importantes, por exemplo, a interferência e/ou degradação do sinal das redes sem fio.

Uma solução para monitoramento de tráfego V2X em tempo real baseada em *clusters* é proposta em (AISSAOUI et al., 2014). Assume-se que uma RSU é colocada em cada cruzamento, sendo ela responsável por armazenar as mensagens enviadas pelos veículos com as informações de suas respectivas vias. Cada veículo mantém uma tabela com as posições de outros veículos recebidas por meio dos *beacons*. O veículo mais próximo do centro do *cluster* de sua via é eleito como *cluster-head*. Em seguida, esse veículo transmite a sua posição e de todos os veículos conhecidos para uma RSU por meio do protocolo de roteamento GeoUnicast (AISSAOUI et al., 2014). Este trabalho avaliou as seguintes métricas: fração de veículos salvos na RSU, *Overhead* de mensagens, taxa de sucesso na entrega de pacotes à RSU e a diferença entre as posições salvas na RSU e a posição real dos veículos. Os resultados obtidos mostram que a solução V2X baseado em cluster é capaz de coletar mais de 90% dos dados disponíveis e reduzir o *overhead* para um quarto quando comparada a outras abordagens. Para avaliar o desempenho dessa solução foram realizados experimentos de simulação utilizando um cenário e tráfego de mobilidade sintético.

O TransTree é um método de detecção de congestionamento proposto em (BRITO et al., 2015). Ele corresponde a uma modificação do trabalho feito em (BRITO et al., 2014) e utiliza comunicações V2X. Ambos os trabalhos montam uma árvore com os veículos envolvidos no congestionamento por meio de comunicações V2V. A diferença entre os dois métodos está no mecanismo de montagem da árvore. O TransTree modifica o algoritmo, diminuindo o envio de *beacons* e o número de reconstruções da árvore. O método proposto apresentou um ótimo desempenho, conseguindo enviar até 87% menos beacons quando comparado com seu antecessor (BRITO et al., 2014). Porém, esta solução apresenta um pior desempenho em termos de *overhead* de sinalização quando comparado a outras soluções de detecção e minimização de congestionamentos. Este trabalho realizou experimentos de simulação para avaliar o desempenho de sua solução e utilizou-se cenário e tráfego sintético aleatório.

Os autores em (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014) propõem um algoritmo distribuído para quantificação de congestionamentos de trânsito. Por meio desse algoritmo, cada veículo é capaz de estimar o nível de congestionamento local baseando-se apenas na velocidade atual. O algoritmo é completamente distribuído e utiliza apenas comunicações V2V, sendo independente de qualquer tipo de infraestrutura ou sistemas externos. Nesse trabalho, não é avaliado o impacto da sinalização sobre o congestionamento na eficiência do deslocamento dos veículos, o que deveria reduzir os níveis de congestionamentos ou evitar que os veículos alcancem áreas congestionadas. O trabalho desenvolvido em (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014) limita-se a apenas detectar os congestionamentos. Neste trabalho foram realizados experimentos de simulação utilizando cenário e tráfego sintético aleatório.

Um protocolo para minimizar os congestionamentos de veículos sem a exigência de unidades de acostamento (RSUs) foi proposto em (SOUSA; SOARES, 2015). Esse

protocolo utiliza apenas comunicações V2V e baseia-se no algoritmo de quantificação do artigo (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014). Nesse protocolo foram utilizados três mecanismos: detecção e quantificação de congestionamento, disseminação de informação e minimização de congestionamento. Em especial, destaca-se que o protocolo proposto usa de forma mais eficiente o meio sem fio através do uso de *clusters*, reduzindo o *overhead* de sinalização. Ainda em (SOUSA; SOARES, 2015) foi realizado também um estudo sobre a redução no tempo de viagem dos veículos obtendo resultados que demonstram a sua eficiência quando comparado em cenários com e sem alteração de rotas. Este trabalho utilizou nos experimentos um cenário e tráfego sintético aleatório para avaliar seu desempenho.

No trabalho de mestrado proposto em (SOUSA, 2016) foi realizada uma tentativa de utilizar o cenário de Luxemburgo para a avaliação de desempenho de um protocolo DMCV (SOUSA; SOARES, 2015). Por se tratar de um cenário de larga escala que utiliza trace de tráfego, os autores tentaram utilizar apenas uma fração de 20 minutos das 24 horas disponíveis e utilizaram a área inteira do cenário. O computador utilizado para realizar as simulações tinha 32 núcleos de 2,30 GHz e 100gb de memória RAM. Apesar disso, foram necessários 21 dias para concluir apenas uma das simulações. Isso demonstra a complexidade computacional necessária para realizar simulações em cenários de larga escala.

As simulações de protocolos DMCV necessitam de cenários de simulação realísticos e de larga escala para alcançar os resultados esperados. Além da dificuldade para obter cenários realísticos, simular tais cenários apresenta uma alta complexidade computacional. Mesmo com computadores modernos, estas simulações podem durar várias semanas (SOUSA, 2016). Com isso, faz-se necessário um estudo de alternativas para viabilizar avaliações de desempenho de redes veiculares em cenários de larga escala.

### 3.3 Traces de Mobilidade Veicular

Um trace é um conjunto de dados de mobilidade veicular disponibilizado por diferentes projetos de pesquisa <sup>1 2 3</sup>. Os traces de mobilidade (ou traces de tráfego) podem ser classificados como sintético ou real. Os traces sintéticos são construídos a partir de ferramentas de geração de mobilidade considerando várias características da cidade, como por exemplo, o tipo de área, a população e outros aspectos obtidos por administradores da cidade. Os traces de mobilidade real são os traces gerados por veículos reais equipados com dispositivos de Sistema de Posicionamento Global (*Global Position System* - GPS) (CUNHA et al., 2016).

---

<sup>1</sup> <http://kolntrace.project.citi-lab.fr/>

<sup>2</sup> <http://www.vehicularlab.uni.lu/lust-scenario/>

<sup>3</sup> <http://www.cs.unibo.it/projects/bolognaringway/>

Atualmente, os traces de mobilidade real representam a mobilidade de táxis, pois é mais fácil projetar este tipo de experimento em veículos dessa categoria do que em outros tipos de veículo. Dentre os traces existentes deste tipo, existem cinco já consolidados na literatura: Roma, São Francisco, Shanghai, Pequim, e Shenzhen. Esses traces contêm as posições de táxis trabalhando durante um determinado período. Cada táxi possui um receptor de GPS e envia a informação de localização periodicamente para um servidor central. Assim, sendo possível a geração de um trace por meio das entradas de diferentes posições dos táxis salvas.

Apesar dos traces de mobilidade real apresentarem dados gerados por veículos reais, eles necessitam de um tratamento complexo para serem utilizados em simuladores. Além disso, acredita-se que esses traces de mobilidade real não são adequados para o estudo de protocolos DMCV porque os dados obtidos são apenas dos táxis. Por isso, faz-se necessário a utilização de demandas de tráfego sintético com um grande número de carros e congestionamentos para viabilizar o estudo de aplicações de detecção e minimização de congestionamento de veículos.

Os traces de mobilidade sintética podem ser classificados em sintética aleatória e sintética realística. As demandas de tráfego sintético aleatório são geradas criando rotas aleatórias no mapa utilizado. Este tipo de demanda de tráfego não representa condições reais de trânsito, já que o tráfego fica distribuído de forma uniforme no mapa. Já as demandas de tráfego sintético realístico são geradas por meio de traces construídos por ferramentas de geração de mobilidade para serem utilizados em simuladores de tráfego. Essas ferramentas levam em consideração características particulares da cidade tais como população, vizinhança (residencial, comercial, industrial), dentre outros aspectos obtidos por administradores da cidade. Este tipo de demanda de tráfego consegue representar bem o comportamento do trânsito nas diversas regiões da cidade e, por esse motivo é a melhor opção para avaliar protocolos DMCV em cenários reais de larga escala.

Um dos projetos que disponibiliza traces de mobilidade sintética realística é o *TAPAS Cologne* que é uma iniciativa do Instituto de Sistemas de Transporte do Centro Aeroespacial Alemão, destinado a reproduzir, com o mais alto nível de realismo possível, o tráfego automóvel na maior área urbana da cidade de Colônia, na Alemanha. O trace de Colônia (UPPOOR et al., 2014) é sintético e contém as posições de carros durante um período de 24 horas numa área de  $400km^2$ . Entretanto, o conjunto de dados disponível publicamente inclui dados de um período de duas horas, contendo trajetórias de aproximadamente 118 mil veículos com entradas registradas a cada segundo. Na Figura 4 é apresentado um mapa com as vias utilizadas no cenário da cidade de Colônia.

O projeto LuST (*Luxembourg SUMO Traffic Scenario*) (CODECA; FRANK; ENGEL, 2015) que disponibiliza um cenário com 24 horas de mobilidade sintética realística da cidade de Luxemburgo, localizada no país de Luxemburgo. Este cenário possui 563 paradas

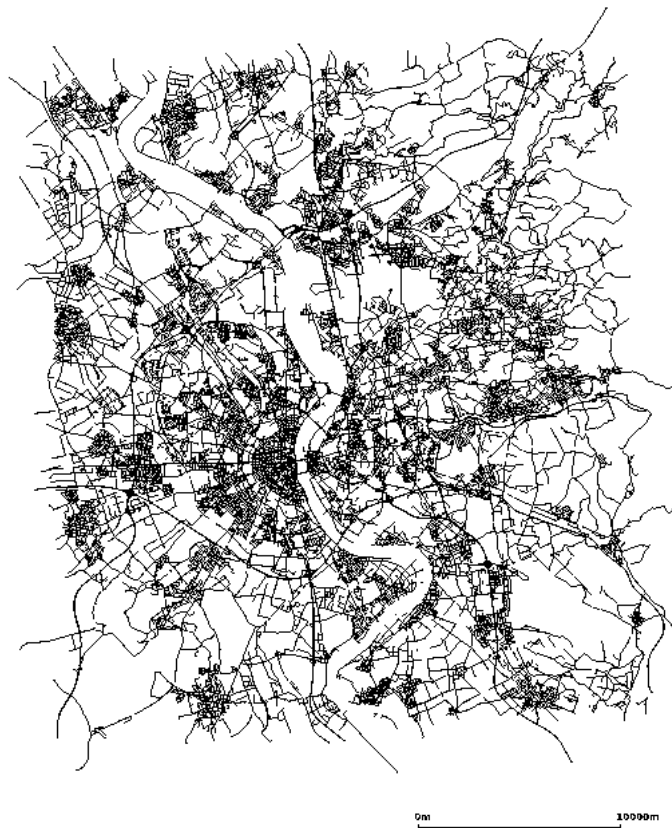


Figura 4 – Mapa do cenário da cidade de Colônia - Alemanha.

de ônibus, 38 rotas de ônibus, mais de 900km de ruas numa área de aproximadamente  $155\text{km}^2$ . O trace de mobilidade disponível é de 24 horas de tráfego e são inseridos mais de 200 mil veículos durante esse período. Esse trace apresenta uma demanda de tráfego com mais de 5 mil veículos em horários de pico (7:00 às 9:00 e 18:00 às 20:00). Na Figura 5 é apresentado um mapa com as vias utilizadas no cenário da cidade de Luxemburgo.

O projeto *The Bologna Ringway* (BEDOGNI et al., 2015) é um cenário de tráfego de mobilidade sintética realística construído para trabalhar com os simuladores SUMO, Veins e iTetris. Na Figura 6 é apresentado um mapa com as vias utilizadas no cenário da cidade de Bolonha. Nesse cenário é modelado o trânsito da cidade de Bolonha da Itália. O trace de mobilidade desse projeto disponibiliza uma hora de tráfego entre as 8 e 9 horas da manhã, com mais de 22 mil veículos numa área de aproximadamente  $15\text{km}^2$ .

Na Tabela 1 é apresentado um resumo com os dados sobre os três cenários com traces sintéticos mencionados. Por meio dessa tabela, observa-se área dos cenários, quantidade de veículos e tempo de duração de cada trace. Pode-se observar também que o cenário que apresenta a maior área é o cenário de Colônia e o cenário com o trace de maior duração é o cenário de Luxemburgo. O cenário de Bolonha apresenta a menor área, a menor quantidade de veículos e o menor tempo de duração. Entretanto, este cenário apresenta proporcionalmente um maior número de veículos por  $\text{km}^2$  em um menor tempo de duração.

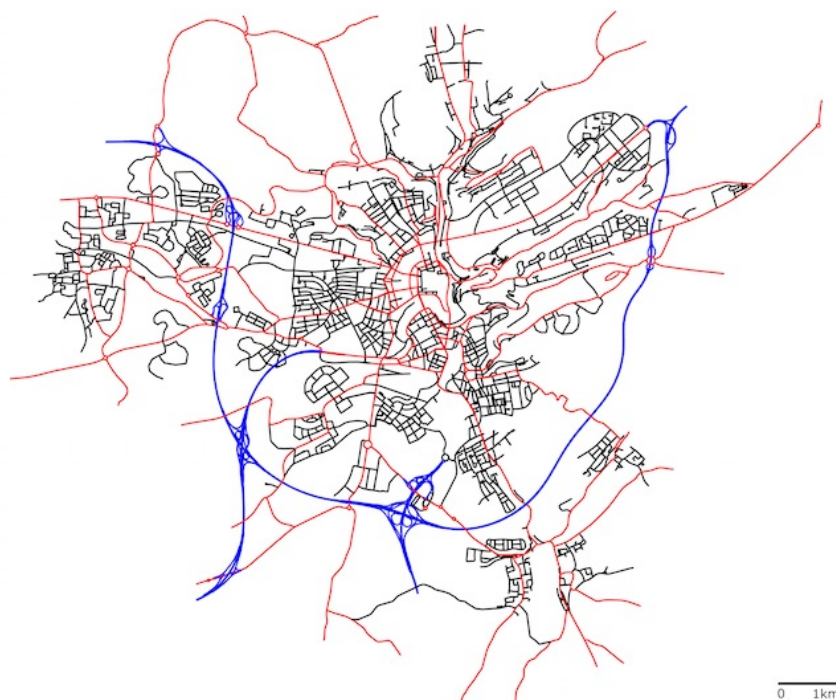


Figura 5 – Mapa do cenário da cidade de Luxemburgo - Luxemburgo.

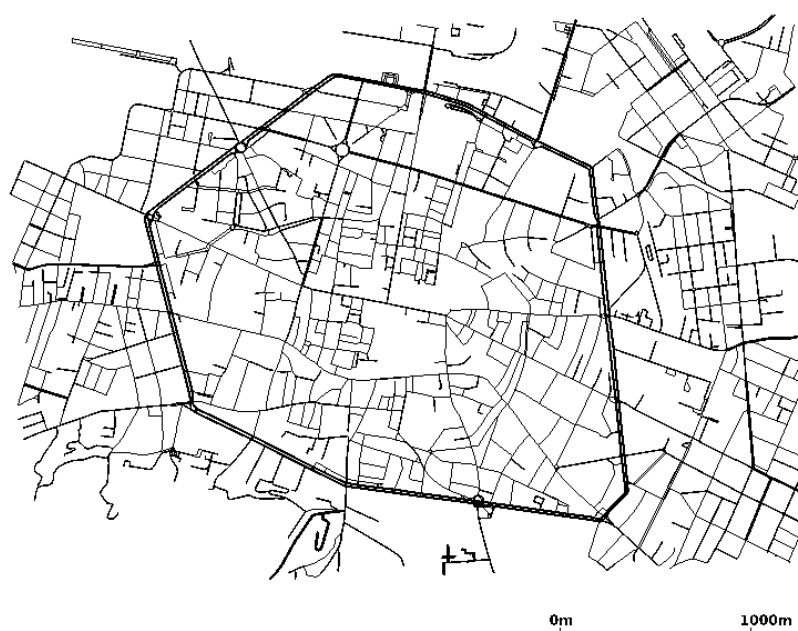


Figura 6 – Mapa do cenário da cidade de Bolonha - Itália.

Cenário - Trace	Características		
	Área ( $km^2$ )	Quant. de veículos	Tempo de duração (h)
Colônia	400	118 mil	2
Luxemburgo	155	200 mil	24
Bolonha	25	22 mil	1

Tabela 1 – Características dos cenários que utilizam traces de tráfego sintético.

Observa-se que existem diferentes tipos de cenários e traces de mobilidades bem distintos. A realização de simulações para validar protocolos e aplicações com cada um desses traces (reais e sintéticos) torna-se inviável devido ao tempo requerido para concluir todas as simulações. Além disso, existe uma grande dificuldade e complexidade em tratar os traces de mobilidade real. Assim, esse trabalho de mestrado limita-se em estudar apenas os traces de mobilidade sintéticos.

Diante da variedade de características dos traces apresentados, faz-se necessário uma análise para verificar qual cenário e trace de mobilidade deve ser utilizado para validar uma determinada aplicação. Em aplicações de redes veiculares que fazem detecção e minimização de congestionamentos de veículos, os traces mais apropriados para serem utilizados nas simulações são aqueles traces com uma grande quantidade de veículos para que haja formação de congestionamentos no cenário simulado. Entretanto, o tempo necessário para concluir as simulações com esses tipos de traces pode ser muito demorado.

Como foi apresentado na Seção 3.2, existem muitos trabalhos de protocolos DMCV, porém muito desses trabalhos utilizam cenários com mobilidade de tráfego sintético não realístico. Enquanto, são poucos os trabalhos que utilizam cenários realísticos completos ou uma parte deles. Um dos motivos para isso é a demora no tempo de simulação utilizando esse tipo de cenário. Outro motivo, é o de decidir qual parte do cenário deve ser utilizado nas simulações, por exemplo, quando não existe tempo disponível para simulação de um cenário completo ou quando deseja-se analisar uma área mais congestionada do cenário a ser simulado. Após identificar esses problemas, decidiu-se criar uma nova metodologia que divide o cenário em menores áreas com o objetivo de diminuir o tempo de simulações de protocolos DMCV que utilizam traces sintéticos realísticos.

### 3.4 Metodologia Proposta

A metodologia proposta neste trabalho tem como principal objetivo definir uma forma para avaliar o desempenho de protocolos DMCV em cenários realísticos, diminuindo o tempo de simulação. Por meio dessa metodologia, pode-se identificar as regiões mais congestionadas e os momentos do trace em que ocorrem as maiores formações de congestionamentos.

Toda e qualquer aplicação antes de ser usada deve ser avaliada experimentalmente. Não poderia ser diferente para os protocolos DMCV que são publicados anualmente. Alguns desses trabalhos utilizam cenários e traces realísticos para avaliar por meio de simulação o desempenho de suas aplicações. O principal problema desse tipo de cenário é o tempo de simulação. Acredita-se que uma das formas para diminuir o tempo de simulação deste tipo de cenário pode ser feito por meio da redução de sua área a ser estudada e simulada. Por isso, decidiu-se desenvolver uma metodologia simples e eficaz baseado em divisões



sucessivas da área dos cenários e traces utilizados nas simulações.

O processo seguido pela metodologia proposta pode ser observado por meio do fluxograma apresentado na Figura 7. Inicialmente, escolhe-se um cenário e analisa-o como adequado ou não para o estudo de protocolos DMCV. Para que o cenário seja adequado, nele deve existir uma formação de congestionamentos em algum momento do trace analisado. O cenário sendo adequado, então é realizada a primeira iteração ( $i=1$ ) do processo da metodologia. Divide-se o cenário em duas partes iguais, formando duas regiões distintas. Depois disso, é analisado se a quantidade de rotas geradas pra cada nova região diminuiu e se as regiões possuem o tamanho mínimo. Caso a resposta seja positiva, continua-se o processo de divisão em nova iteração. Caso contrário, escolhe-se a última divisão feita no cenário. Nas seções seguintes é explicado com mais detalhes como é realizado o processo de escolha e divisão do cenário.

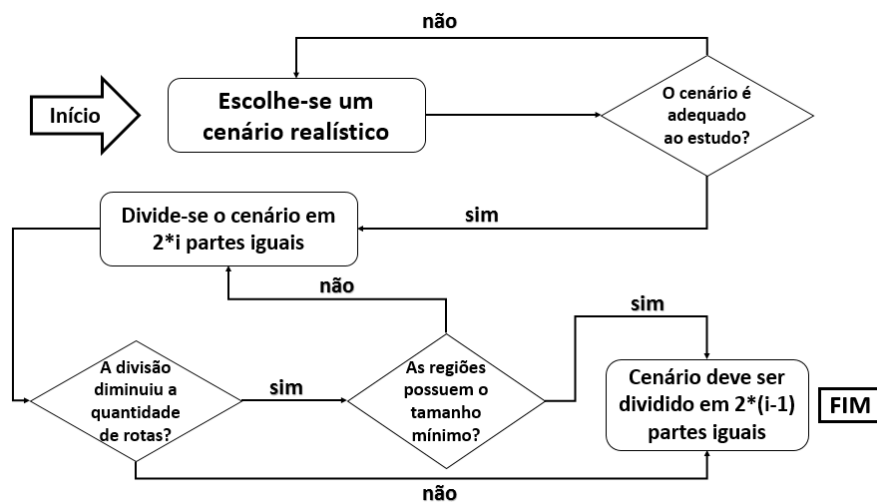


Figura 7 – Fluxograma da metodologia proposta.

### 3.4.1 Processo de Escolha do Cenário

Inicialmente, é necessário verificar se o cenário apresenta congestionamentos e em qual momento do trace ocorrem esses congestionamentos. Assim, pode-se identificar se o cenário é adequado ou não para o estudo de protocolos DMCV, além de identificar o melhor tempo do trace que se pretende simular. Esse processo de verificação é realizado por meio de simulação do cenário a ser estudado. Realiza-se uma simulação completa do cenário com todos os veículos do trace sintético, mas sem envio e recebimento de mensagens entre os veículos. Dessa forma, garante-se que o tempo de conclusão para essa simulação seja rápido. Isso é possível porque cada envio de mensagem representa um evento de simulação, e como trata-se de um cenário com um grande número de veículos mais mensagens serão enviadas durante um período longo de tempo devido aos congestionamentos existentes. Isso ocasionará em um maior número de eventos de simulação e portanto, simular com e

sem a troca de mensagens entre os veículos diferencia significativamente o tempo necessário para concluir uma simulação.

Durante essa simulação sem trocas de mensagens, cada veículo estima seu próprio nível de congestionamento. Este nível é calculado analisando o período de tempo em que as velocidades dos veículos se mantêm abaixo de um limiar ( $6 \text{ m/s}$  ou  $21 \text{ Km/h}$ ) (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014). Os valores discretos de 1 a 100 são utilizados para quantificar o nível de congestionamento dos veículos. O valor 1 é utilizado para representar o fluxo livre e os valores de 2 a 100 são reservados para situações onde a velocidade do veículo é menor que a velocidade limiar. A cada 20 segundos, o nível de congestionamento do veículo é incrementado em uma unidade caso a velocidade se mantenha abaixo do limiar. Se a velocidade for mantida acima do limiar por 10 segundos o nível de congestionamento é alterado para 1, independente do valor anterior.

Por meio das imagens apresentadas na Figura 8, observa-se uma ilustração do funcionamento da estimativa de congestionamento feita por um veículo, desde o momento de fluxo livre, passando por um congestionamento e finalmente voltando a fluxo livre. Na Figura 8a, observa-se o momento inicial onde o veículo encontra-se em uma via com o fluxo livre (nível de congestionamento = 1). Em seguida, na Figura 8b o veículo detecta a formação de congestionamento apresentando um nível igual a 3 e na Figura 8c esse mesmo veículo chega a atingir um nível igual 10. Isso acontece porque sua velocidade permaneceu por um longo tempo abaixo do limiar de velocidade. Com o passar do tempo o veículo sai da via congestionada e volta a trafegar em fluxo livre, como observa-se na Figura 8d.

No gráfico da Figura 9, observa-se as curvas da estimativa de nível de congestionamento e a velocidade do veículo durante um tempo de simulação. Durante os 80 segundos iniciais a velocidade do veículo se mantém acima da velocidade limiar. Portanto, estima-se que a via tem fluxo livre (nível de congestionamento igual a 1). A partir dos 75 segundos, a velocidade do veículo passa a diminuir com o tempo. Observa-se que o nível de congestionamento é incrementado em uma unidade a cada 20 segundos que a velocidade se mantém abaixo da velocidade limiar. A partir dos 320 segundos, a velocidade aumenta gradativamente, o que significa que a via está descongestionando. Pode-se notar que após 10 segundos, com a velocidade acima do limiar, o nível de congestionamento passa a ser o valor mínimo indicando fluxo livre novamente.

Com todos os veículos estimando seus níveis de congestionamentos locais é possível obter a média do nível de congestionamento de cada uma das vias do cenário ao longo do tempo de simulação. Com essa informação sobre os congestionamentos das vias, pode-se analisar se o cenário apresenta congestionamentos significativos que o tornam adequado para o estudo de protocolos DMCV. Na Figura 10 apresenta-se um exemplo de gráfico contendo os níveis de congestionamento de todas as vias de um cenário com trace sintético de duração de 3600 segundos. Nesse gráfico nota-se a existência de congestionamentos

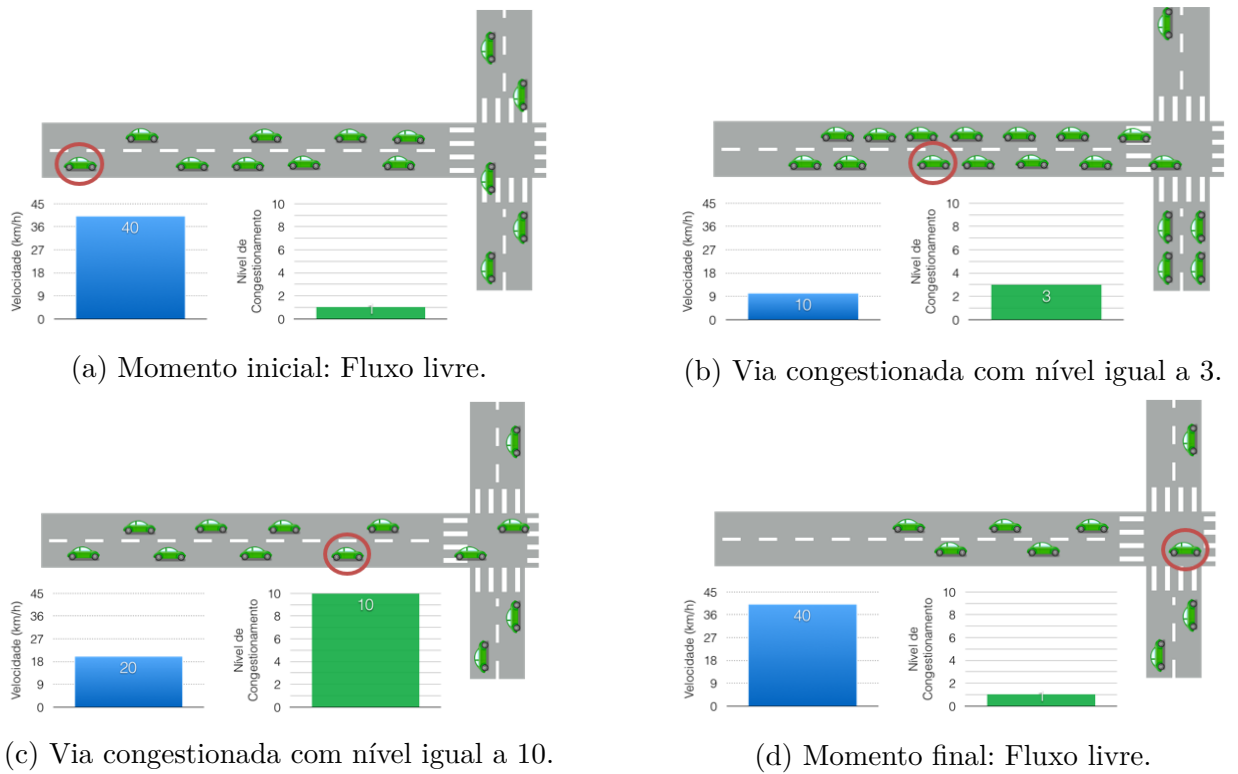


Figura 8 – Ilustração do funcionamento da estimativa do nível de congestionamento feita por um veículo ao longo de uma via congestionada.

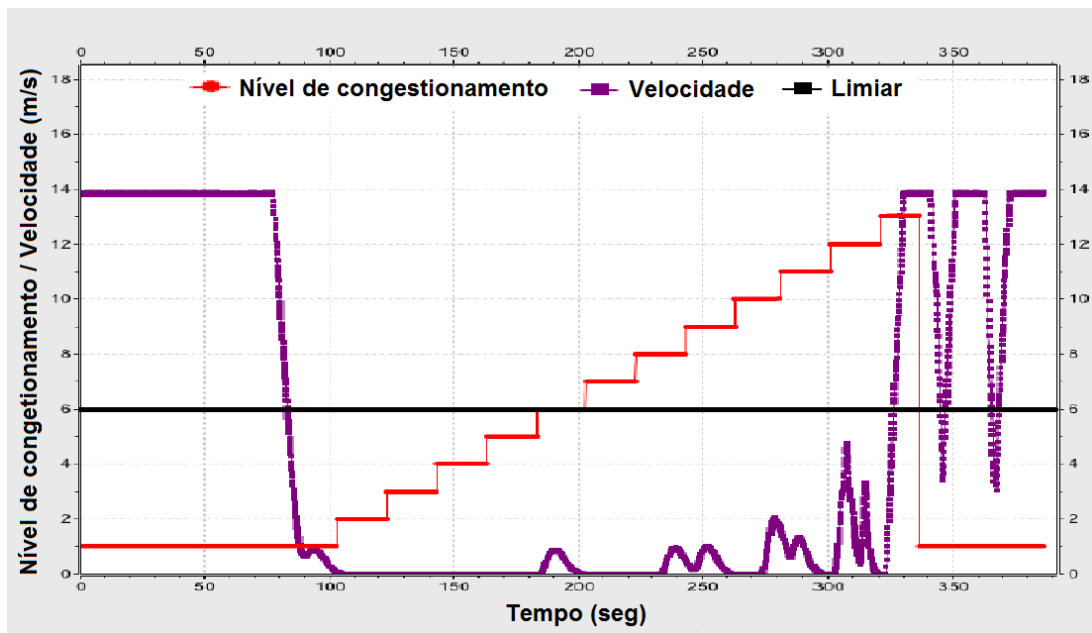


Figura 9 – Quantificação do nível de congestionamento local de um veículo.

nas vias a partir dos 2000 segundos de simulação, além disso verifica-se uma quantidade significativa de vias com altos níveis de congestionamento. Por meio desses dados, percebe-se que este cenário poderia ser utilizado para o estudo de avaliação de desempenho de protocolos DMCV.

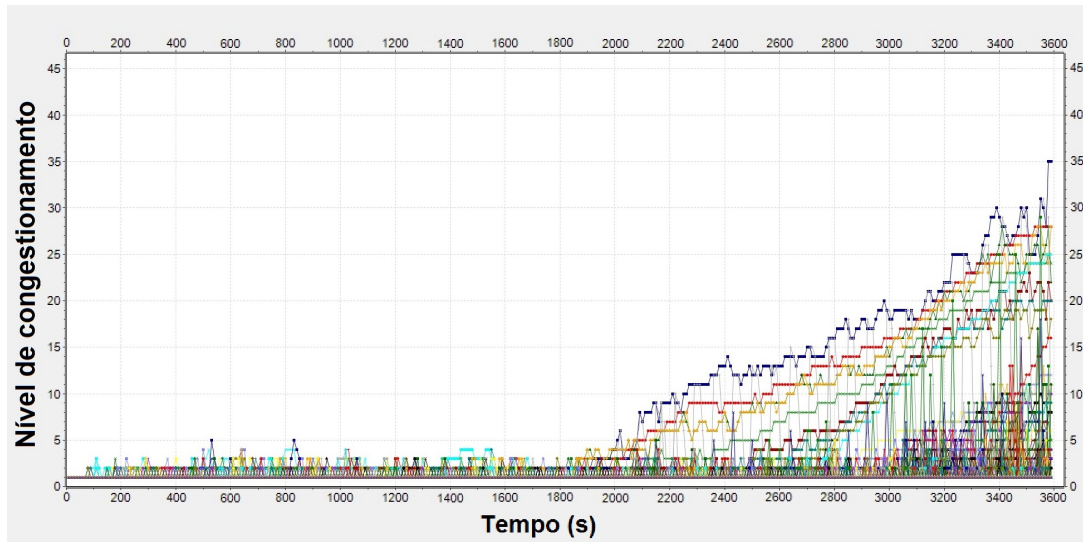


Figura 10 – Nível de congestionamento das vias de um cenário.

Caso verifique-se que o cenário não possui formação de congestionamentos é indicado escolher outro cenário realístico para conduzir os experimentos. Se o cenário apresentar congestionamentos, então o cenário é adequado para o estudo de protocolos DMCV e continua-se o processo desta metodologia. Após a verificação realizada, divide-se o cenário em duas partes iguais e gera-se dois traces (um para cada região) a partir do trace original. Os novos traces mantêm todos os veículos que tem rotas que passam por aquela região. Dessa maneira, garante-se que não existirá uma redução da mobilidade dentro de cada região que será simulada e analisada futuramente.

### 3.4.2 Processo de Divisão do Cenário

Depois do processo de escolha do cenário, analisa-se a quantidade de rotas que estão nos novos traces e o tamanho de cada região gerada. Os novos traces devem apresentar uma redução mínima de 30% na quantidade de rotas em comparação com o trace original. Por meio de simulações e testes iniciais, decidiu-se utilizar esse valor para tentar garantir que, após a divisão do cenário, o tempo total de simulação de todas regiões não seja maior que o tempo de simulação do cenário original. Além disso, define-se que cada região gerada deve ter no mínimo uma área de  $3\text{km}^2$ . Esse valor baseia-se no tamanho das regiões utilizadas em trabalhos da literatura (AISSAOUI et al., 2014) (BRITO et al., 2015) (ARAÚJO et al., 2014) (SOUSA; SOARES, 2015) e assim garante-se que não haverá regiões exageradamente pequenas. Se ambas restrições forem satisfeitas pode-se dividir o cenário em mais partes, sempre seguindo múltiplos de dois e sendo partes de mesmo tamanho. Assim, a próxima

divisão seria em 4 partes. Caso essa nova divisão não satisfaça alguma das restrições, então usa-se a divisão anterior.

Para exemplificar o processo da metodologia proposta, utilizou-se o cenário e trace de BolognaRingWay (BEDOGNI et al., 2015). Inicialmente, dividiu-se o cenário ao meio gerando duas partes iguais por meio de um corte vertical na área do mapa. As duas regiões geradas a partir desse corte podem ser observadas na Figura 11a. Vale ressaltar que o corte pode ser horizontal ou vertical, com tanto que sempre sejam geradas divisões com tamanhos iguais até o final do processo.

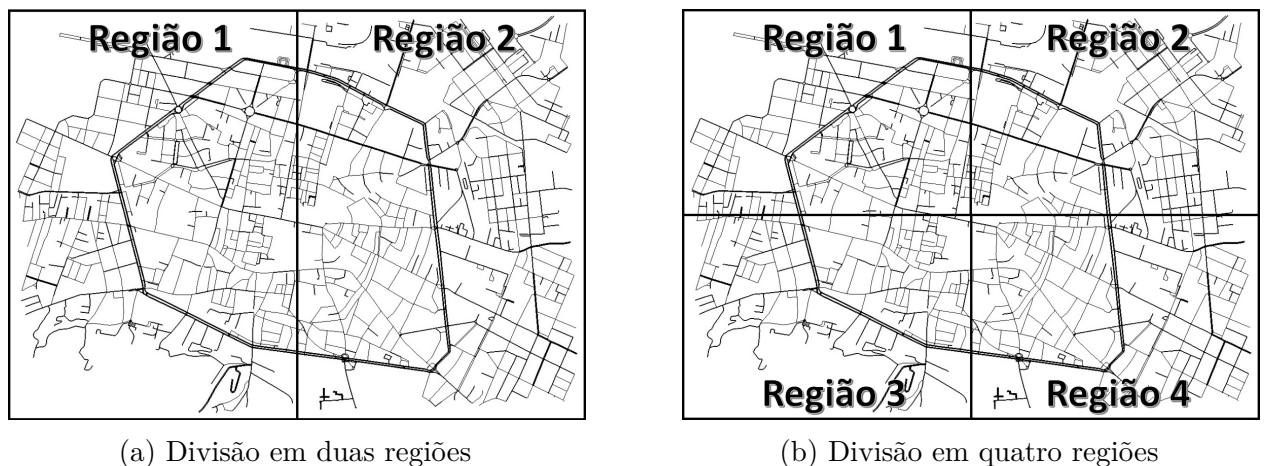


Figura 11 – Divisão do cenário de BolognaRingWay.

Após a divisão, foi analisado a quantidade de rotas em cada trace de cada região. Essas regiões apresentaram uma redução maior que 30% do que o trace original, e além disso apresentaram uma área de tamanho igual a  $6,3\text{km}^2$ . Portanto, continuou-se o processo dividindo o cenário em 4 regiões de tamanhos iguais. As regiões geradas podem ser observadas na Figura 11b. As novas 4 regiões também apresentaram uma redução maior que a mínima exigida, porém com uma área de aproximadamente  $3,2\text{km}^2$ . Por isso, não pode-se dividir o cenário em mais partes porque as regiões geradas teriam um tamanho menor que  $3\text{km}^2$ . Finalizado o processo de divisões, as regiões do cenário com seus respectivos traces já estão prontos para serem analisados e simulados. Os resultados obtidos a partir desse estudo podem auxiliar na escolha da melhor faixa de tempo do trace e área do cenário para validar esses protocolos, além de diminuir o tempo necessário para concluir todas as simulações.

### 3.5 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo discutiu-se sobre os tipos de experimentos de avaliação de desempenho de protocolos DMCV, destacando o problema do tempo de simulação com cenários de trace de tráfego sintético. Alguns dos protocolos DMCV presentes na literatura foram apresentados e, em seguida, discutiu-se sobre os traces de mobilidade veicular. Foram

apresentados três projetos que disponibilizam cenários com traces de mobilidade sintética realística (*TAPASCologne*, *LuST* e *BolognaRingWay*), caracterizando-os de acordo com a quantidade de veículos, área do cenário e tempo de duração do trace.

Destacou-se o problema do tempo de simulação enfrentado no trabalho de mestrado desenvolvido em (SOUSA, 2016). Portanto, decidiu-se propor uma metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos. O principal objetivo dessa metodologia é diminuir o tempo de simulação dos experimentos realizados com esse tipo de protocolo. Além disso, objetiva-se identificar as áreas geográficas do cenário e as janelas de tempo do trace que apresentam mais/menos congestionamentos. Isso é possível, por meio das divisões sucessivas do cenário e do trace estudado. No capítulo seguinte é apresentado um estudo de caso que utiliza a metodologia do proposta e por meio dele pode-se comprovar a eficiência da metodologia em diminuir o tempo de simulação de experimentos com protocolos DMCV.

## 4 Estudo de Caso

Neste capítulo é feito um estudo de caso utilizando a metodologia proposta para redução do tempo de simulação de protocolos DMCV. Nesse estudo é realizado um experimento avaliando o tempo de conclusão das simulações com e sem o uso da metodologia, além disso é avaliado o desempenho de um protocolo DMCV neste mesmo cenário. Na Seção 4.1 é discutido e detalhado como foram realizados os experimentos nos estudos de caso. Na Seção 4.2, apresenta-se o estudo com o cenário e trace da cidade de Bolonha (cenário de *BolognaRingWay*). Por fim, são feitas as considerações finais sobre o estudo na Seção 4.5.

### 4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado um estudo de caso apresentando seus respectivos resultados para exemplificar e confirmar a eficiência da metodologia proposta. O principal objetivo da metodologia é proporcionar um menor tempo de simulação para protocolos DMCV em cenários que utilizam traces de tráfego. Portanto, foram realizadas simulações para avaliar se houve redução do tempo necessário para simular os cenários. Além disso, foram realizadas simulações utilizando uma modificação do protocolo desenvolvido em (SOUSA; SOARES, 2015). A modificação citada consiste na mudança de quantificação de congestionamento. No artigo (SOUSA; SOARES, 2015), o protocolo utiliza os valores de 1 a 10 para quantificar e neste trabalho de mestrado utilizaremos valores de 1 a 100. Com o aumento do número de níveis, pode-se analisar e diferenciar o comportamento dos congestionamentos existentes com mais facilidade. Isso é possível porque o uso de cem níveis auxilia a diferenciar o comportamento dos níveis de congestionamentos das vias graficamente e numericamente. Vale ressaltar que essa modificação não altera o desempenho do protocolo.

Nas simulações realizadas, foi utilizada a ferramenta de simulação de rede OMNET++ 4.6 (VARGA; HORNIG, 2008) em conjunto com o simulador de tráfego e mobilidade urbana SUMO 0.25.0 (KRAJZEWICZ et al., 2012). Para integrar estes dois simuladores foi utilizado o *framework* Veins 4.3 (SOMMER; GERMAN; DRESSLER, 2011) que possui suporte para o padrão 802.11p de redes veiculares. O *framework* Veins tem sido amplamente utilizado no estudo de redes veiculares (MILOJEVIC; RAKOCEVIC, 2014) (GRAMAGLIA; CALDERON; BERNARDOS, 2014) (ARAÚJO et al., 2014) (BRITO et al., 2014) (BRITO et al., 2015) (SOUSA; SOARES, 2015). O cenário e trace utilizado nas simulações foram os de *BolognaRingWay* (BEDOGNI et al., 2015) que trata-se de um cenário com tráfego de mobilidade sintética realística construído para trabalhar com os

simuladores SUMO e Veins.

Todas as simulações foram realizadas em um computador de 32 núcleos de 2,30 GHz e 100gb de memória RAM. Primeiramente foram realizadas simulações com o cenário completo e com o cenário dividido em regiões, variando o tempo de simulação com valores de 100 à 350 segundos. Por meios desse experimento foi possível avaliar o tempo de duração das simulações, a quantidade total de eventos de simulação, a quantidade total de mensagens transmitidas e o total de veículos simulados.

Além disso, foram realizadas simulações para avaliar o desempenho de um protocolo DMCV. A duração de cada uma dessas simulação foi de 3600 segundos, o que significa uma hora de tráfego dos traces sintéticos. Cada região do cenário foi simulada com e sem o algoritmo detecção e minimização de congestionamentos de veículos. As simulações de cada uma dessas regiões foram replicadas 5 vezes e utilizou-se um nível de confiança de 95%. Por meio das simulações foi possível observar as seguintes métricas: nível de congestionamento das vias, quantidade de veículos ativos, tempo médio de viagem dos veículos e a quantidade de veículos que concluem seu percurso.

## 4.2 Cenário de Bolonha

Inicialmente, é necessário verificar se o cenário de *BolognaRingWay* apresenta congestionamentos e em qual momento do trace ocorrem esses congestionamentos. Assim, pode-se identificar se o cenário é adequado ou não para o estudo de protocolos detecção e minimização de congestionamentos de veículos, além do melhor tempo do trace que se pretende simular.

Como já descrito no capítulo 3, essa verificação é feita por meio das simulações com veículos que estimam seus níveis de congestionamentos locais, baseando-se apenas em suas respectivas velocidades e sem enviar ou receber mensagens de outros veículos. Na Figura 13, é apresentado um dos gráficos construídos a partir dos resultados dessas simulações. Este gráfico apresenta a média do nível de congestionamento do cenário que é calculada por meio da média aritmética do nível de congestionamento de todas as vias do cenário.

Ainda na Figura 12, pode-se observar que existem congestionamentos sendo formados com o passar do tempo de simulação. Esses congestionamentos começam a ser formados logo após os 500 segundos de simulação, onde observa-se o crescimento do nível de congestionamento no gráfico. O cenário de *BolognaRingWay* chega a atingir um nível de congestionamento superior a 25 ao final da simulação.

Outra métrica observada é a média do nível de congestionamento das vias do cenário. Na Figura 13 é apresentado um gráfico avaliando essa métrica. Neste gráfico pode-se



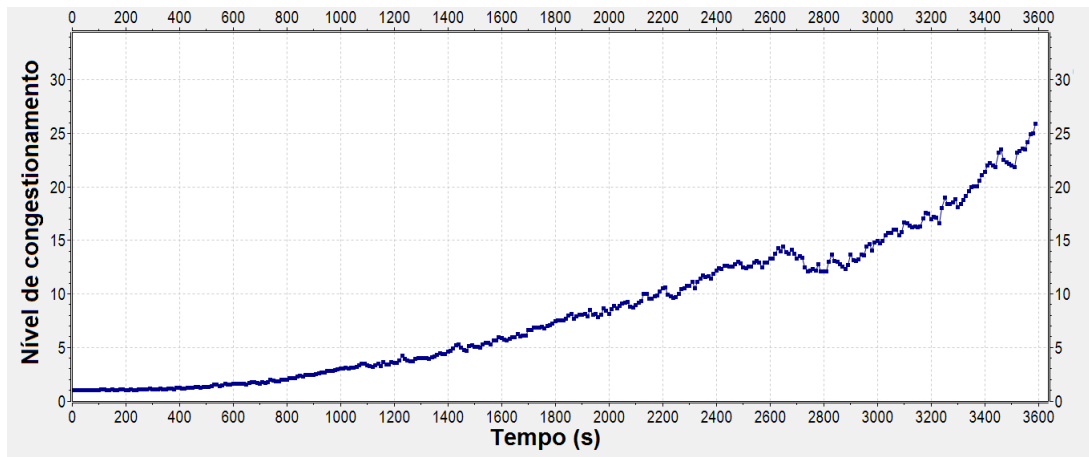


Figura 12 – Média do nível de congestionamento do cenário *BolognaRingWay*

observar algumas das vias do cenário. Existem vias congestionadas e vias que permanecem com a média do nível de congestionamento igual ao nível máximo. A quantidade total de vias monitoradas foi 2857, onde 1114 vias apresentaram uma média de nível de congestionamento maior que 1 (vias congestionadas) e um total de 1943 vias apresentaram uma média igual a 1 (vias de fluxo livre). Por meio dos resultados apresentados nos gráficos das Figuras 12 e 13 constata-se que o cenário de *BolognaRingWay* é adequado ao estudo de protocolos DMCV.

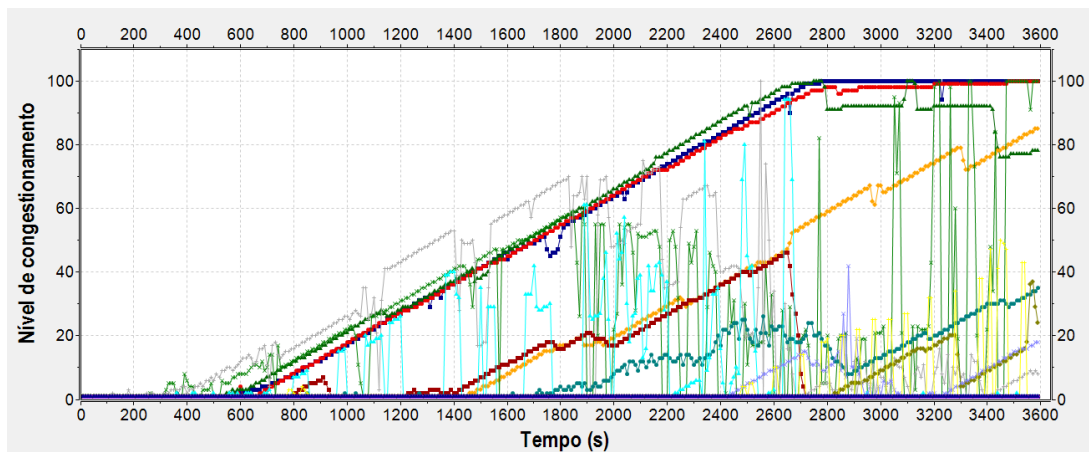


Figura 13 – Média do nível de congestionamento das vias do cenário *BolognaRingWay*.

Depois disso, dividiu-se o cenário de *BolognaRingWay* ao meio gerando duas partes iguais por meio de um corte vertical na área do mapa. As duas regiões geradas a partir desse corte podem ser observadas na Figura 11a. Após a divisão, foi analisado a quantidade de rotas em cada trace das regiões. Essas regiões apresentaram uma redução maior que 30% do que o trace original, e além disso apresentaram uma área de tamanho igual a  $6,3\text{km}^2$ . Portanto, continuou-se o processo e dividiu-se o cenário em 4 regiões de tamanhos iguais. As regiões geradas podem ser observadas na Figura 11b. As novas 4 regiões também apresentaram uma redução maior que a mínima exigida, porém com uma área de

aproximadamente  $3,2\text{km}^2$ . Por isso, não pode-se dividir o cenário em mais partes porque as regiões geradas teriam um tamanho menor que  $3\text{km}^2$ . Finalizado o processo de divisões, as regiões do cenário com seus respectivos traces já estão prontos para serem analisados e simulados.

### 4.3 Tempo de simulação

Como foi dito anteriormente, acredita-se que uma das formas para diminuir o tempo de simulação em cenários que utilizam traces pode ser por meio da redução da área do cenário a ser estudada e simulada. Dessa forma, uma menor quantidade de veículos é simulada e conseqüentemente um número menor de mensagens serão transmitidas no decorrer da simulação. Assim, existirão menos eventos a serem simulados e portanto a simulação durará um tempo menor.

Para confirmar essa hipótese, foram feitas algumas simulações com um cenário realístico utilizando o protocolo DMCV proposto em (SOUSA, 2016). Nas simulações foram utilizados os tempos de 100 a 350 segundos. Foram realizadas simulações com o cenário e trace sem modificações (cenário completo) e com as regiões geradas por meio da metodologia (região 1, 2, 3 e 4). Além disso, é apresentado nos gráficos a curva com a soma dos valores de todas as regiões com o objetivo de comparar mais facilmente com o cenário completo.

Na Figura 14, observa-se a quantidade de veículos utilizados durante as simulações com o cenário completo, com cada uma das quatro regiões geradas com uso da metodologia e com a soma dessas quatro regiões. Dividindo as regiões, um menor número de veículos é distribuído para cada região para que sejam feitas simulações independentes. No entanto, nota-se que a soma da quantidade de veículos das quatro regiões supera a quantidade do cenário completo. Isso acontece porque existem veículos com rotas que passam em mais de uma região e por isso estão contidos em ambas as regiões. Na Tabela 2, observa-se os valores com as quantidades de mensagens transmitidas entre os veículos em cada uma das regiões.

Na Figura 15, apresenta-se um gráfico com a quantidade de mensagens transmitidas ao longo do tempo de simulação. Observa-se uma diferença significativa na quantidade de mensagens entre simular o cenário completo e simular todas as regiões do cenário independentemente. Aos 350 segundos de simulação, nota-se que a quantidade de mensagens transmitidas no cenário completo é 10,5 vezes maior que a quantidade simulada nas quatro regiões do cenário geradas pela metodologia.

Na Figura 16, apresenta-se um gráfico com a quantidade de eventos de simulação executados durante o experimento. Assim como no gráfico anterior, observa-se que existe uma diferença significativa entre a simulação utilizando o cenário completo e as quatro

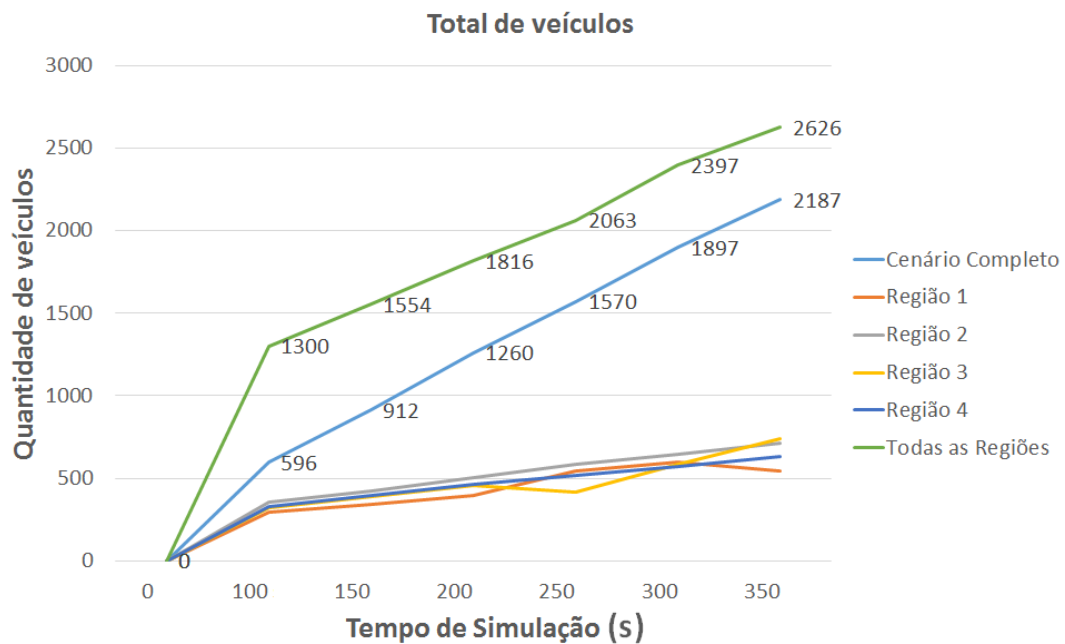


Figura 14 – Quantidade total de veículos da simulação.

Tempo de simulação (s)	Quantidade de mensagens transmitidas			
	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
100	5.811	77.920	12.586	60.269
150	112.340	728.963	206.045	326.651
200	551.589	2.510.275	906.712	1.292.937
250	1.832.087	6.895.304	2.871.125	4.317.644
300	2.996.653	12.265.423	4.363.927	6.633.824
350	5.810.075	22.619.350	7.879.785	10.549.305

Tabela 2 – Quantidade de mensagens transmitidas entre os veículos em cada uma das 4 regiões.

regiões independentes. Proporcionalmente à quantidade de mensagens, observa-se que a quantidade de eventos tem um crescimento similar. Aos 350 segundos de simulação, o cenário completo atinge uma quantidade de eventos de simulação 10,6 vezes maior que a quantidade obtida no cenário com as quatro regiões. Dessa maneira, nota-se que a quantidade de mensagens influencia diretamente na quantidade de eventos de simulação do experimento.

Por meio dos gráficos apresentados nas Figuras 15 e 16 observa-se que o aumento do número de total de mensagens e eventos de simulação crescem exponencialmente no cenário completo. Contudo, a soma dos valores obtidos nas simulações realizadas com as quatro regiões apresenta uma curva menor. Isso acontece porque existem menos veículos em cada uma das quatro regiões simuladas e, conseqüentemente, menos mensagens são transmitidas e menos eventos de simulações são executados. Apesar desses resultados, ainda falta verificar se a divisão do cenário em menores regiões, além de diminuir a quantidade

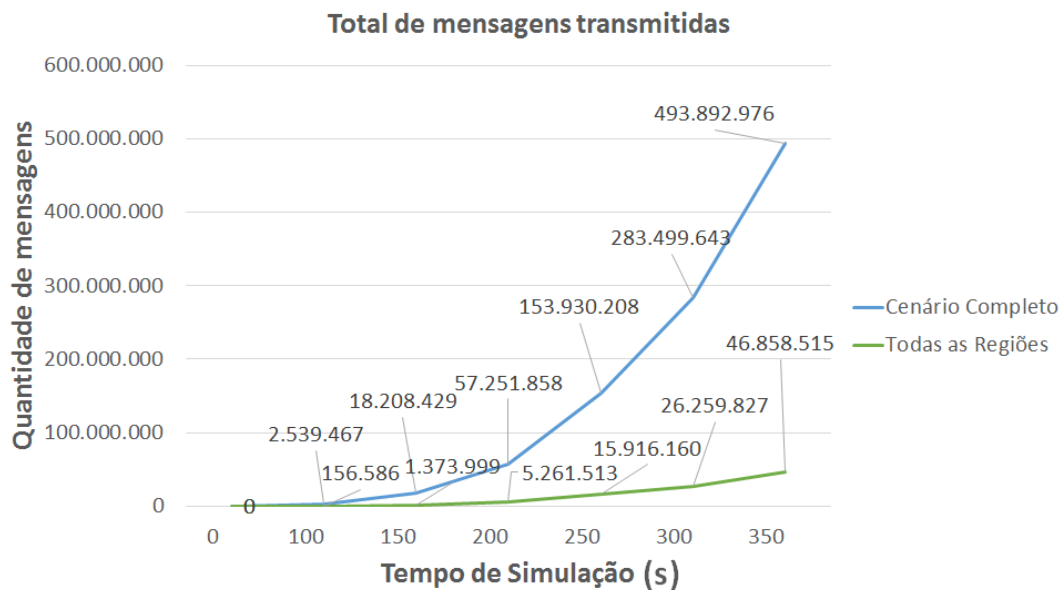


Figura 15 – Quantidade total de mensagens transmitidas entre os veículos.

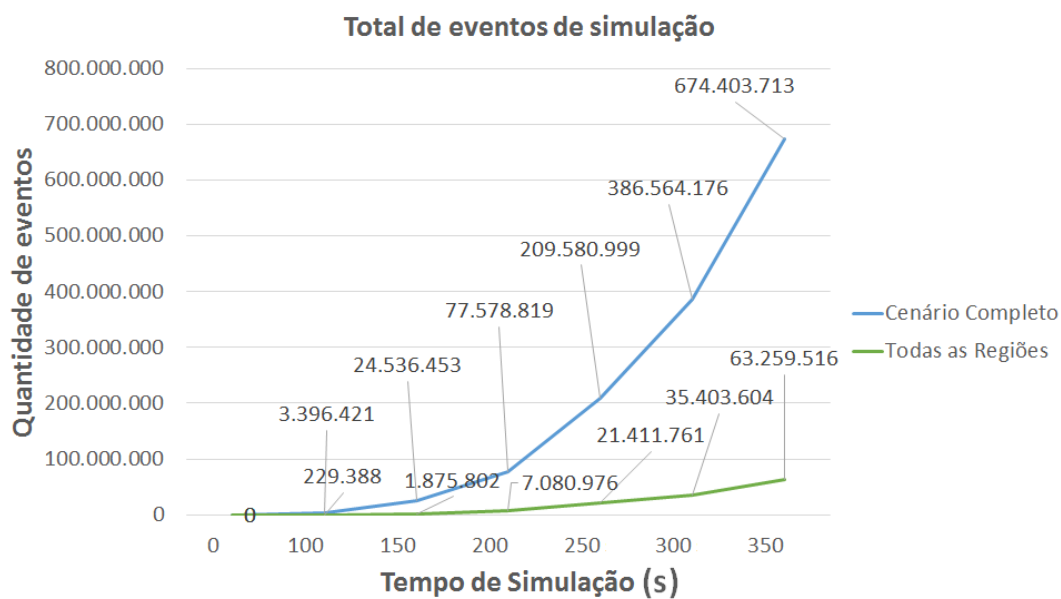


Figura 16 – Quantidade total de eventos de simulação.

de carros, mensagens transmitidas e eventos de simulação, diminui também o tempo de simulação.

Pode-se confirmar que é possível diminuir o tempo de simulação por meio da metodologia, dividindo o cenário estudado em menores regiões. Na Figura 17, apresenta-se um gráfico com o tempo de duração de uma simulação utilizando o cenário completo e as quatro regiões independentes. Por meio desse gráfico, pode-se notar que a simulação utilizando a metodologia de divisão do cenário dura menos tempo do que a simulação realizada com o cenário completo. Observa-se que uma simulação com duração de 350 segundos utilizando o cenário completo pode demorar mais de um dia (29 horas) para

concluir, enquanto com uso das quatro regiões esse tempo atinge pouco menos de uma hora (55 minutos) de simulação.

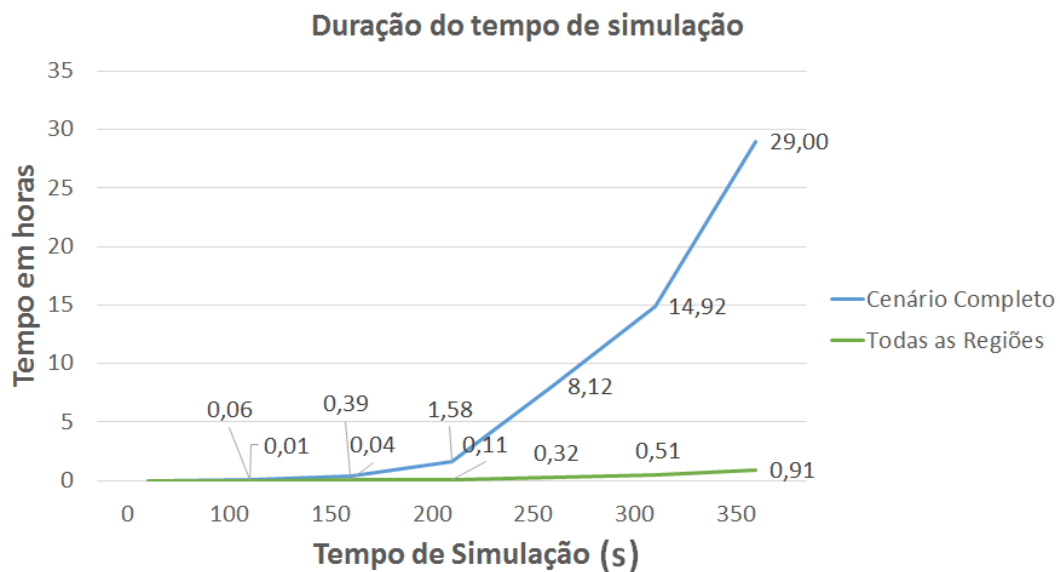


Figura 17 – Tempo de duração das simulações.

Portanto, com o uso de regiões menores é possível diminuir a quantidade de veículos durante a simulação e o número de mensagens transmitidas entre eles. Dessa maneira, existe um número menor de eventos a serem simulados e portanto diminui-se o tempo de simulação. Além disso, dividir um cenário em regiões menores significa diminuir a quantidade de dados e a complexidade da análise sobre o comportamento dos diferentes congestionamentos em um cenário realístico. Vale ressaltar que o objetivo deste trabalho de mestrado não é comparar a simulação do cenário completo com o cenário dividido em regiões, mas mostrar que utilizando a metodologia é possível diminuir o tempo de simulação e ter diferentes áreas para realizar experimentos com protocolos DMCV.

## 4.4 Avaliação de Desempenho do Protocolo DMCV

Nesta seção é feito um estudo de avaliação de desempenho do protocolo DMCV proposto em (SOUSA; SOARES, 2015) com uma modificação. Como já foi citado anteriormente, a modificação trata-se apenas da mudança de quantificação de congestionamento. O protocolo utiliza os valores de 1 a 10 para quantificar e neste trabalho de mestrado utilizaremos valores de 1 a 100. Essa modificação não altera o desempenho do protocolo, mas possibilita analisar e diferenciar o comportamento dos congestionamentos existentes com mais facilidade porque existem mais níveis e dessa maneira pode-se diferenciar o comportamento dos congestionamentos das vias ao longo do tempo.

Por meio da metodologia proposta foi possível, realizar esse experimento de avaliação de desempenho de protocolo DMCV utilizando um cenário realístico em 1 mês de simulações.

Foram realizadas simulações de 3600 segundos utilizando o cenário de *Bologna RingWay* para cada uma das 4 regiões. Nas simulações foram avaliadas algumas métricas comparando o cenário sem alteração de rotas e o cenário que utiliza o algoritmo de detecção e minimização de congestionamentos. No restante deste capítulo, o cenário sem alteração de rotas será referenciado por SAR e o cenário que utiliza a proposta de (SOUSA; SOARES, 2015) para alteração das rotas dos veículos será referenciado por CAR (Com Alteração de Rota). As métricas avaliadas nesse estudo são o nível de congestionamento das vias, a quantidade de veículos ativos, o tempo médio de viagem dos veículos e a quantidade de veículos que concluem seu percurso.

#### 4.4.1 Região 1

Na Figura 18, apresenta-se um gráfico com a média do nível de congestionamento de todas as vias da região 1 ao longo do tempo de simulação. Observa-se que a partir do tempo de 400 segundos inicia-se um crescimento do nível de congestionamento do cenário SAR, o que significa que algumas vias da região estão congestionando. No cenário CAR, a média do nível de congestionamento varia próximo do valor 1, indicando fluxo livre na grande maioria das vias. Isso ocorre por causa da possibilidade dos veículos alterarem suas rotas baseando-se nos níveis de congestionamentos das vias.

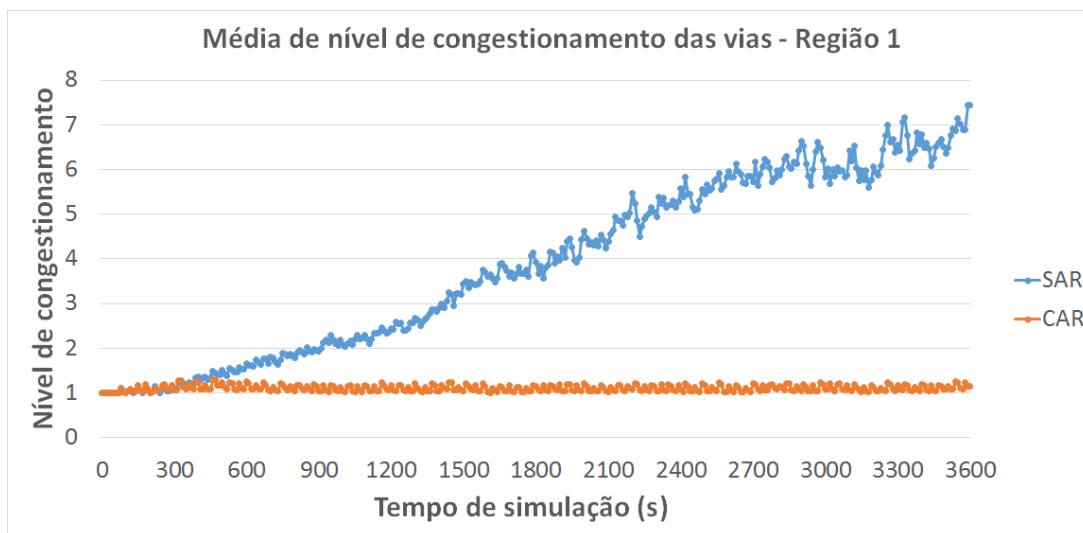


Figura 18 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 1.

No gráfico apresentado na Figura 19, verifica-se a média da quantidade de veículos que estão circulando durante a simulação. Até o tempo de 400 segundos nota-se que o número de veículos no cenário SAR e cenário CAR apresentam-se próximos. No cenário sem alteração de rotas, os veículos não desviam dos congestionamentos e demoram para chegar à seus destinos. Por isso, ocorre um aumento do número de veículos ativos durante da simulação. Logo após os 400 segundos de simulação, o cenário CAR apresenta uma quantidade de veículos ativos menor que fica variando entre 100 e 400 veículos. Isso

acontece porque no cenário CAR os veículos desviam dos congestionamentos e concluem seu percurso mais rapidamente.

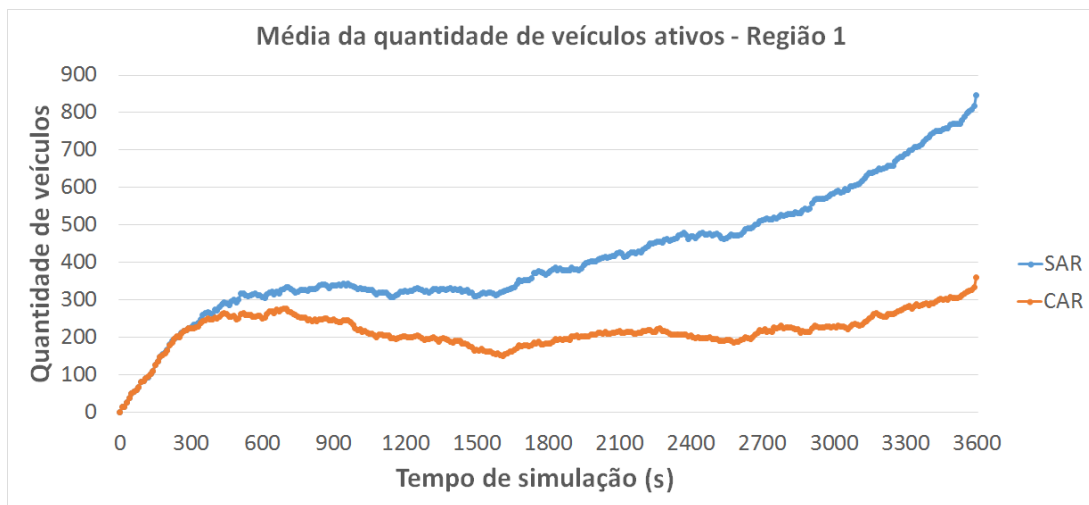


Figura 19 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 1.

Na Figura 20 é apresentado um gráfico com a média do tempo de viagem de veículos que concluíram seus percursos. Neste gráfico, é observado essa métrica a cada 600 segundos de simulação com a finalidade de avaliar o comportamento dos veículos de maneira mais detalhada. Assim, por meio desse gráfico pode-se observar um crescimento no tempo de viagem no cenário SAR, pois os carros não alteram suas rotas e acumulam-se em congestionamentos. Além disso, a barra de erros cresce ao passar do tempo por causa de veículos que ficaram presos nos congestionamentos e concluem seu percurso tardiamente, aumentando assim o desvio padrão para aquela fatia de tempo. Ao contrário do cenário SAR, o cenário CAR apresenta melhores tempos de viagem ao longo do tempo simulado. Isso acontece porque os veículos distribuem-se no mapa utilizando as vias menos congestionadas para que possam concluir seu percurso em menos tempo.

No gráfico apresentado na Figura 21, pode-se observar a média dos veículos que concluíram seu percurso em porcentagem. Nesse gráfico, é possível notar que no cenário SAR a partir do tempo de 1200 segundos diminui o seu percentual. Essa é a mesma faixa de tempo em que a média do nível de congestionamento do cenário cresce, deixando de apresentar fluxo livre e apresentando nível de congestionamento superior a 2. O cenário CAR a partir da apresenta um percentual de conclusão maior que o cenário SAR e mantém-se com um percentual acima de 52% para a região 1 durante todo o tempo de simulação.

Na Figura 22 é apresentado um gráfico com a média do total de veículos que concluíram seu percurso na região 1, onde é possível observar que no cenário CAR obteve-se uma maior quantidade de veículos. Na região 1, a média do total da quantidade de veículos simulados é igual a 3152. Portanto, o cenário CAR conseguiu garantir que 88,1% dos carros concluíssem seu percurso, enquanto o cenário SAR atingiu apenas 66,6%.

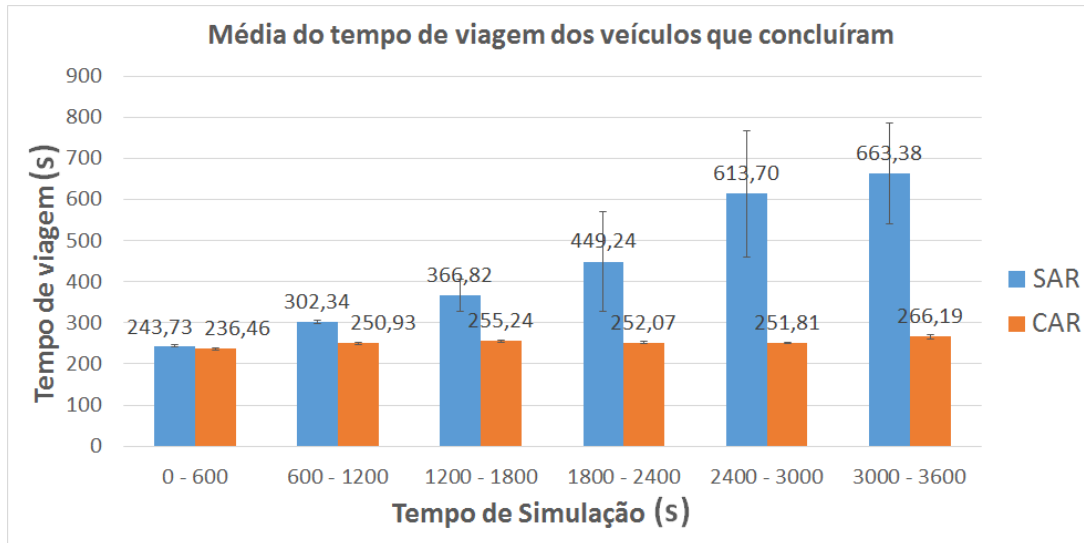


Figura 20 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 1.

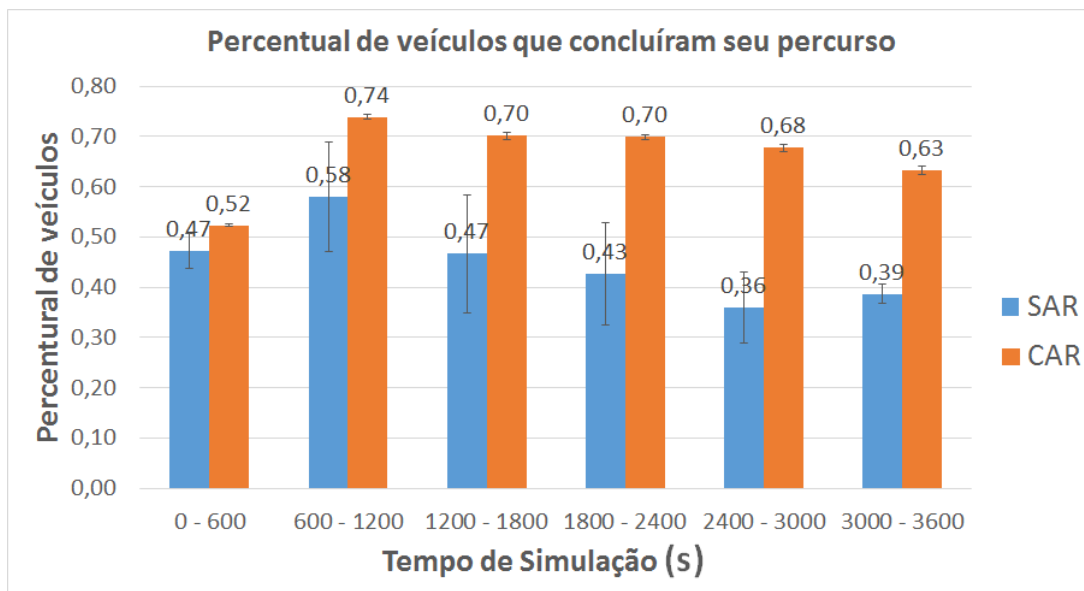


Figura 21 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 1.

#### 4.4.2 Região 2

Na Figura 23, apresenta-se um gráfico com a média do nível de congestionamento de todas as vias da região 2 ao longo do tempo de simulação. Pode-se observar que a partir do tempo de 600 segundos inicia-se um crescimento do nível de congestionamento do cenário SAR, o que significa que algumas vias da região estão congestionadas. No cenário CAR, a média do nível de congestionamento varia pouco e permanece abaixo do nível 2 durante todo o tempo de simulação. Nesse cenário, os veículos alteram suas rotas baseadas nos níveis de congestionamentos e conseguem desviar dos congestionamentos. Com isso o cenário deixa de ser um cenário congestionado, apresentando em quase todas as vias fluxo livre.



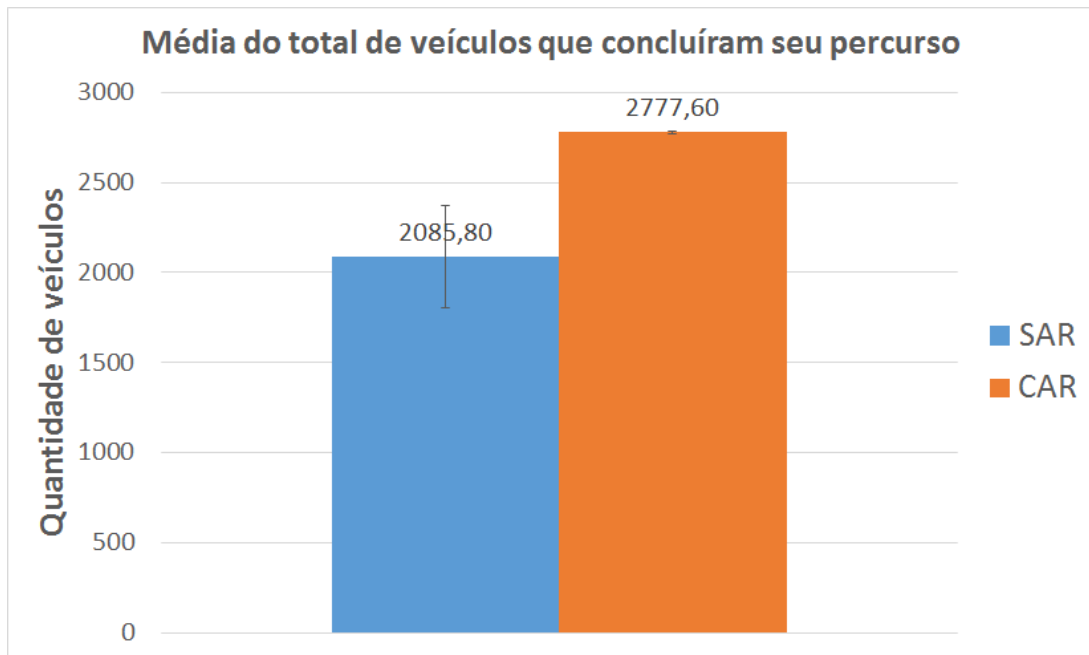


Figura 22 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 1.

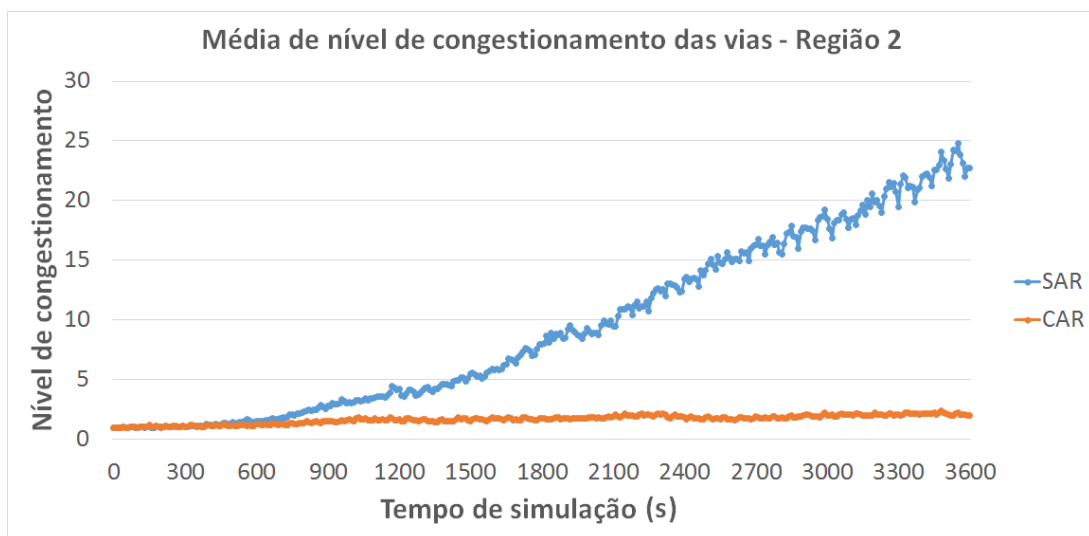


Figura 23 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 2.

No gráfico apresentado na Figura 24, observa-se a média da quantidade de veículos que estão circulando na região 2 durante a simulação. A partir do tempo de 500 segundos é possível notar que inicia um aumento no número de veículos no cenário SAR. No cenário CAR a partir dos 600 segundos, a quantidade de veículos mantém-se abaixo do cenário SAR e apresenta valores que variam entre 500 e 800 veículos. Isso acontece porque no cenário CAR os veículos desviam dos congestionamentos. Dessa maneira os veículos chegam em seus destinos mais rapidamente e por isso diminui-se o número de veículos ativos durante da simulação.

Na Figura 25, é apresentado o gráfico com a média do tempo de viagem de veículos que concluíram seus percursos. Por meio desse gráfico, pode-se observar um crescimento no

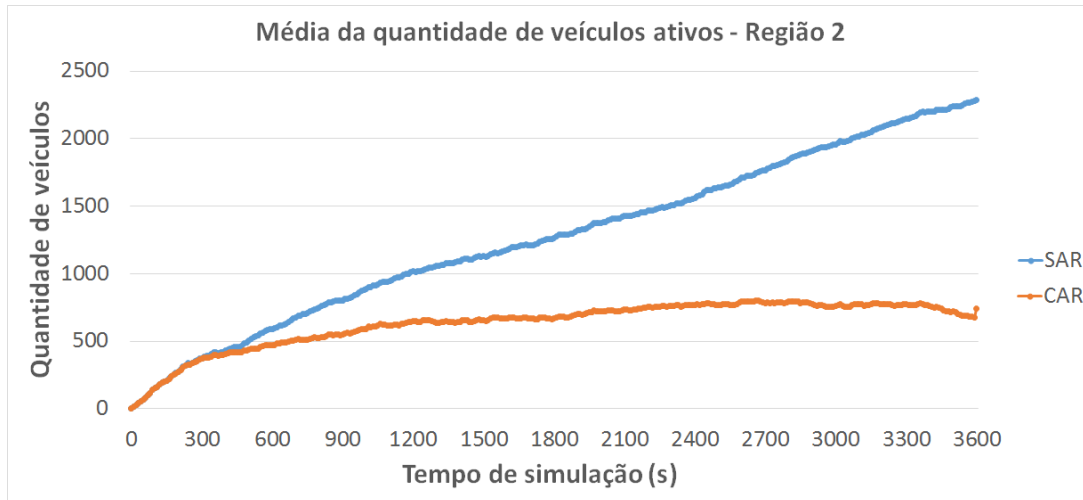


Figura 24 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 2.

tempo de viagem no cenário SAR porque os carros não alteram suas rotas e acumulam-se em congestionamentos. Por isso, esses veículos demoram mais tempo para concluir seus percursos e apresentam um maior tempo de viagem. Ao contrário do cenário SAR, o cenário CAR apresenta melhores tempos de viagem ao longo do tempo simulado, pois os veículos se distribuem no cenário utilizando rotas menos congestionadas. A diferença dos valores da média do tempo de viagem dos cenários aumenta com o passar do tempo por causa do crescimento do nível de congestionamento dessa região.

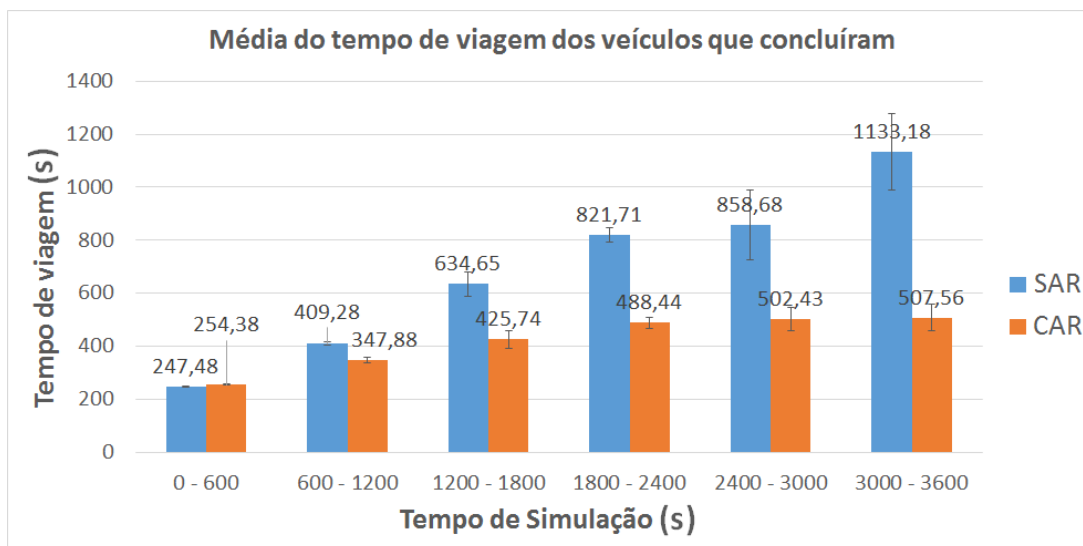


Figura 25 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 2.

No gráfico apresentado na Figura 26, observa-se a porcentagem média dos veículos que concluíram seu percurso. Nesse gráfico, é possível notar que no cenário SAR no tempo de 0 à 3000 segundos diminui-se o seu percentual de conclusão gradativamente, sendo a mesma faixa de tempo que cresce a média do nível de congestionamento neste cenário no gráfico da Figura 23. No tempo de 3000 a 3600 segundos o percentual volta a crescer. Isso

acontece porque os veículos presos em congestionamentos de faixas de tempo anteriores concluem seu percurso nessa faixa de tempo. O cenário CAR apresenta um percentual superior ao cenário SAR e mantém-se com um percentual acima de 40% durante toda simulação, atingindo um valor máximo de 54% no último intervalo de tempo.

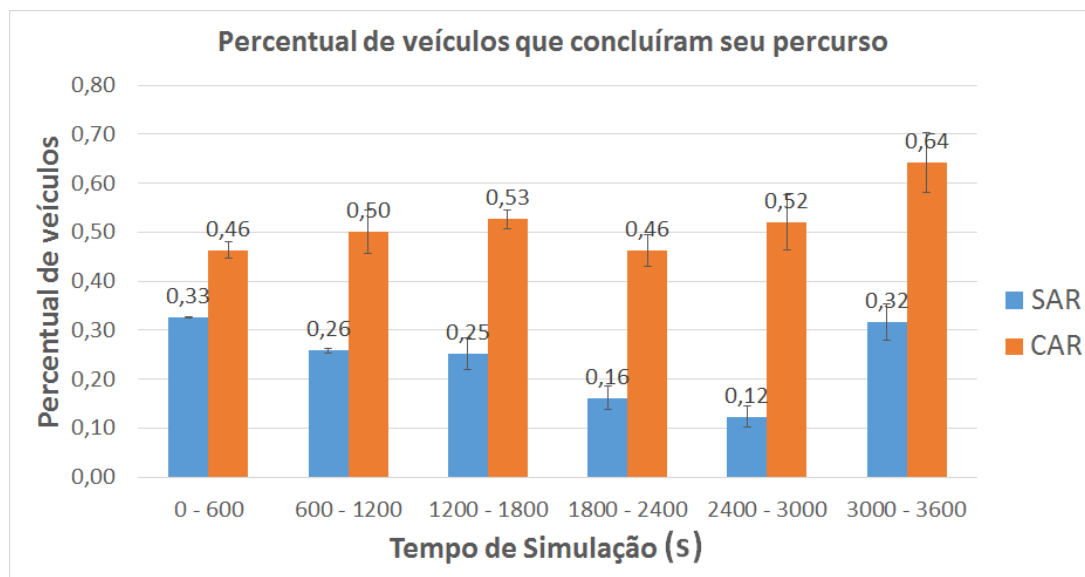


Figura 26 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 2.

Na Figura 27 é apresentado gráfico com a média do total de veículos que concluíram seu percurso na região 2. Observa-se que o cenário CAR obteve uma maior quantidade de veículos concluindo os seus percursos. Na região 2, a média do total da quantidade de veículos simulados é igual a 5167. Portanto, o cenário CAR conseguiu garantir que 81,4% dos carros concluíssem seu percurso, enquanto o cenário SAR atingiu apenas 39,1%.

#### 4.4.3 Região 3

Na Figura 28, apresenta-se um gráfico com a média do nível de congestionamento de todas as vias da região 3. Pode-se observar que essa região não apresenta muitos congestionamentos porque a média de nível de congestionamento das vias mostrou-se abaixo do nível 2 na maior parte do tempo, em ambos os cenários. A partir do tempo de 2100 segundos inicia-se um leve crescimento do nível de congestionamento no cenário SAR, o que significa que algumas vias da região estão congestionando. Entretanto, o congestionamento existente nessas vias não é suficiente para aumentar a média do nível de congestionamento dessa região. No cenário CAR, a média varia pouco e permanece bem próxima do nível 1. Dessa forma, apresenta-se um fluxo livre na grande maioria das vias durante todo o tempo de simulação no cenário CAR.

No gráfico apresentado na Figura 29, pode-se observar a média da quantidade de veículos que estão circulando durante a simulação. Até o tempo de 1100 segundos é possível notar que o número de veículos no cenário SAR e cenário CAR apresentam-se

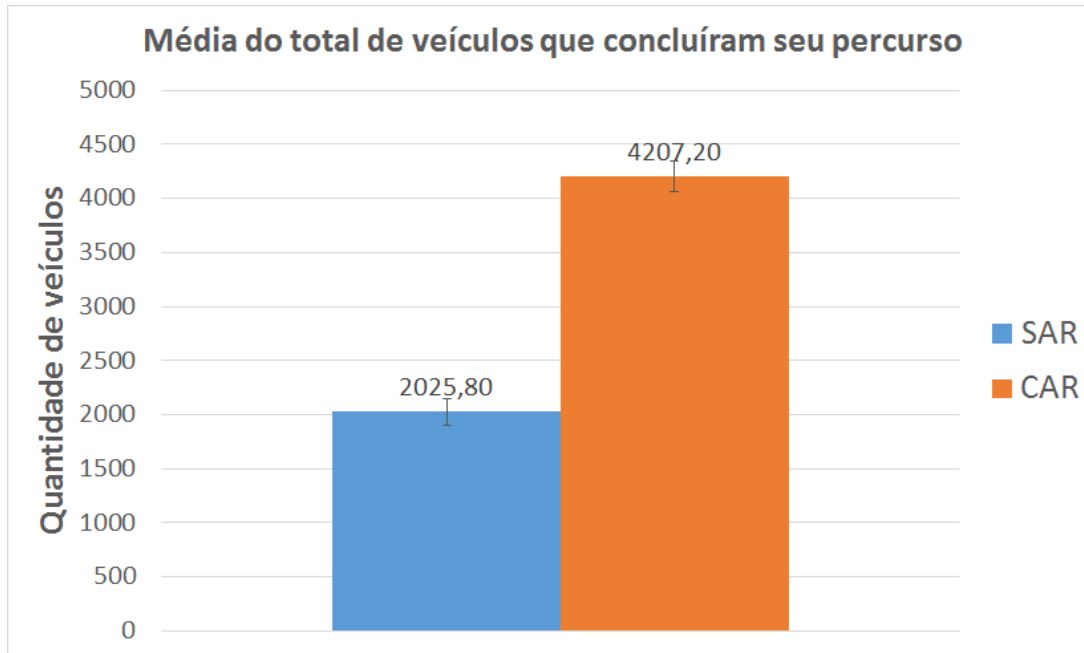


Figura 27 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 2.

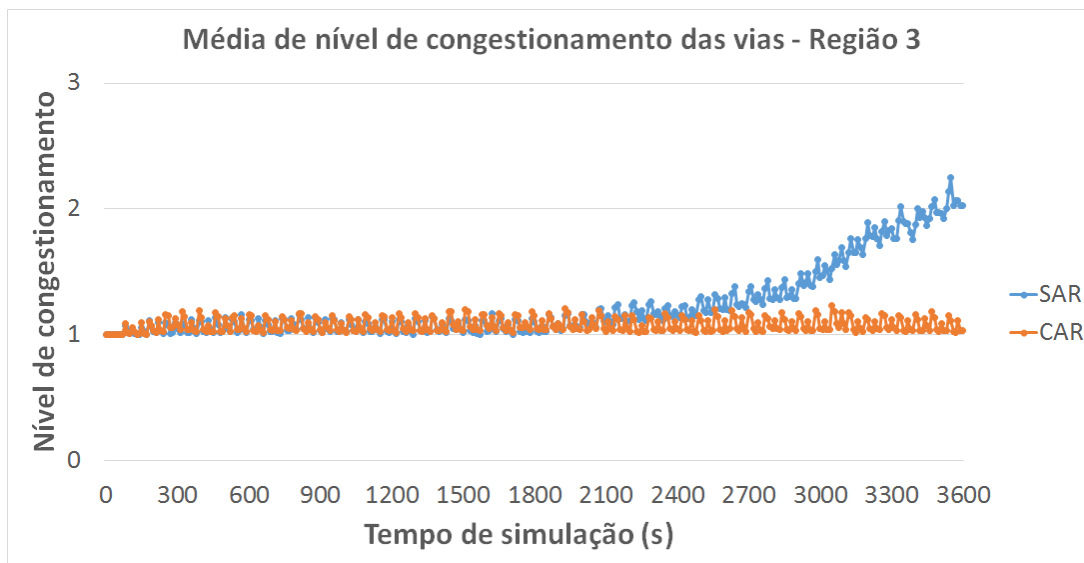


Figura 28 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 3.

bem próximos. Logo após os 1100 segundos de simulação, o cenário CAR apresenta uma quantidade de veículos ativos menor que fica variando entre 300 e 400 veículos. Apesar de existir uma diferença entre os dois cenários, essa diferença não é tão grande quando compara-se com as regiões já apresentadas. Isso acontece porque essa região apresentou-se com a menor média do nível de congestionamento das vias.

Na Figura 30, é apresentado um gráfico com a média do tempo de viagem de veículos que concluíram seus percursos. Por meio desse gráfico pode-se observar um crescimento no tempo de viagem no cenário SAR, pois os carros não alteram suas rotas e podem participar de um dos poucos congestionamentos existentes nesse cenário. Ao contrário do

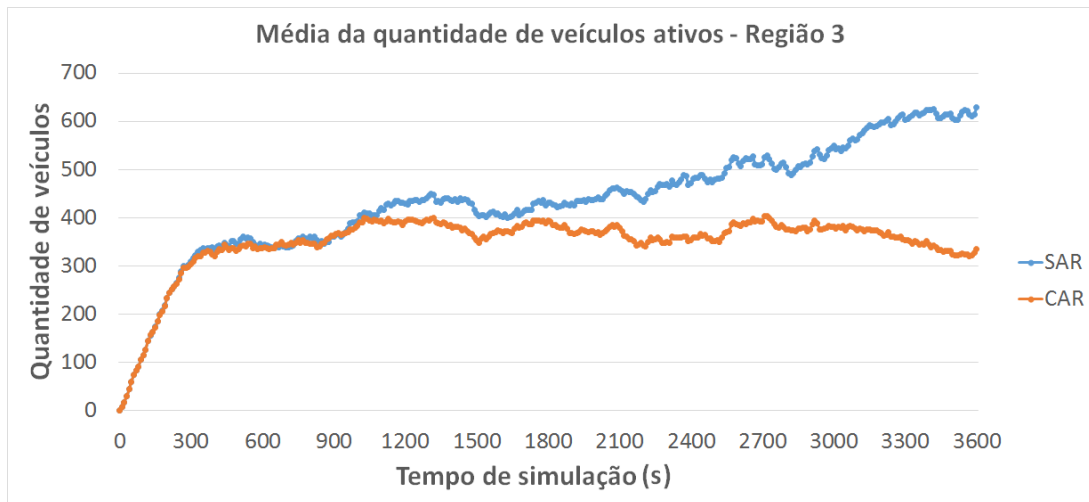


Figura 29 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 3.

cenário SAR, o cenário CAR apresenta valores próximos nos tempos de 0 a 1200 segundo e melhores tempos de viagem a partir do tempo de 1200 segundos. Isso acontece devido ao aumento da quantidade de veículos ativos a partir dos 1200 segundos e porque poucas vias congestionaram nessa região.

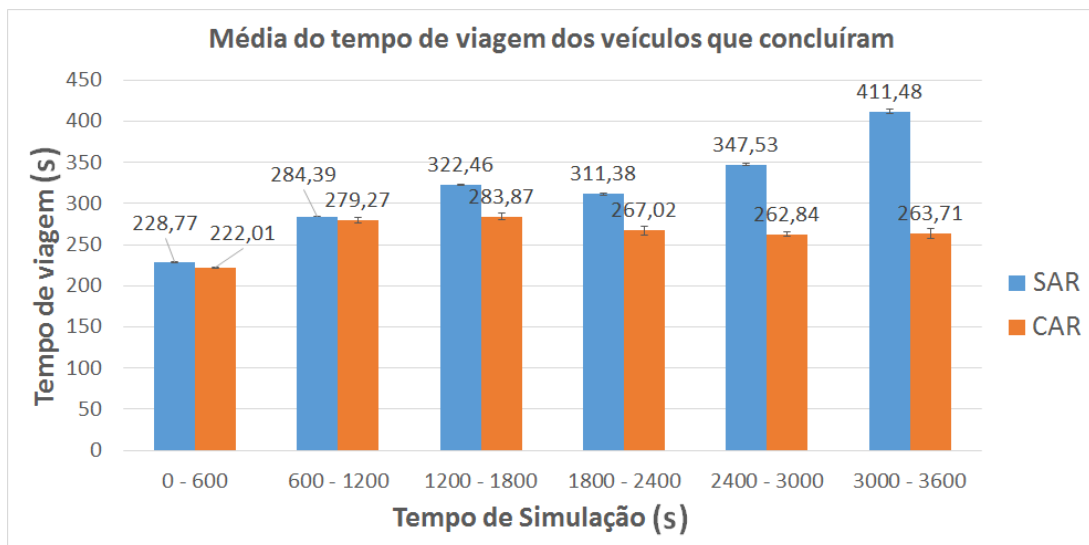


Figura 30 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 3.

No gráfico apresentado na Figura 31, pode-se observar a média dos veículos que concluíram seu percurso em porcentagem. Nesse gráfico, é possível notar que os cenários apresentam valores bem próximos durante os 1800 segundos de simulação. A partir dos 1800 segundos, observa-se que aumenta a diferença dos percentuais dos veículos que concluíram seus percursos. Contudo, essa diferença não é tão expressiva quanto nas outras regiões apresentadas porque esta região apresentou-se menos congestionada. O cenário SAR apresentou percentuais entre 55% e 64%, enquanto o cenário CAR apresentou valores entre 56% e 73%. Essa melhora acontece porque mesmo sem a existência de muitos

congestionamentos nessa região, o protocolo CAR utilizado sugere aos veículos rotas melhores do que as suas rotas originais.

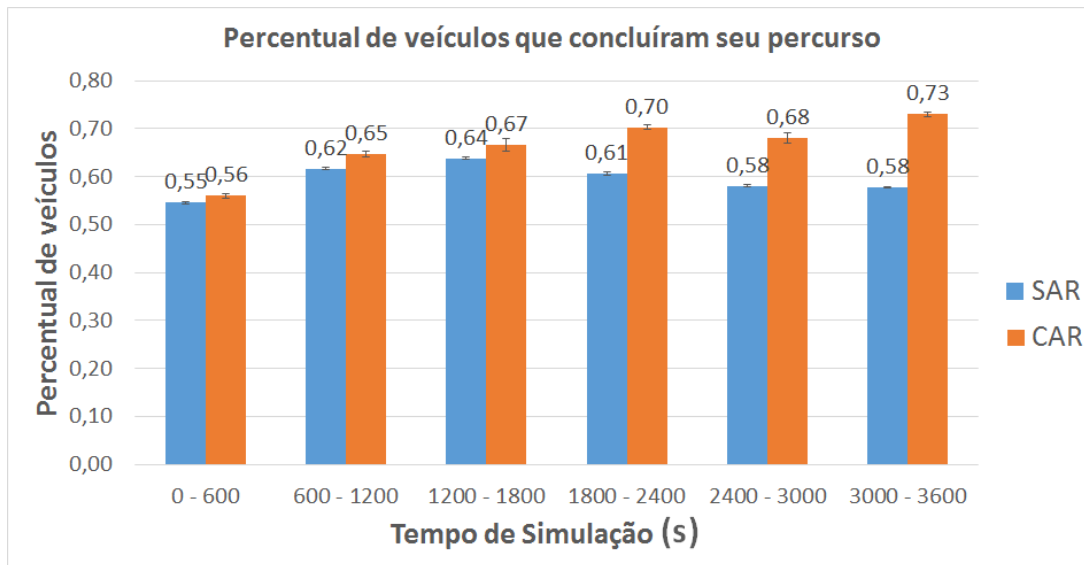


Figura 31 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 3.

Na Figura 32 é apresentado o gráfico com a média do total de veículos que concluíram seu percurso na região 3, onde é possível observar que o cenário CAR obteve uma maior quantidade de veículos concluindo. Na região 3, a média do total da quantidade de veículos simulados é igual a 4710. Portanto, o cenário CAR conseguiu garantir 92,4% dos carros concluíssem seu percurso, enquanto o cenário SAR atingiu apenas 85,7%. Mais uma vez, pode-se perceber que a diferença entre os dois cenários não se mostra tão expressiva por causa da menor quantidade de congestionamentos.

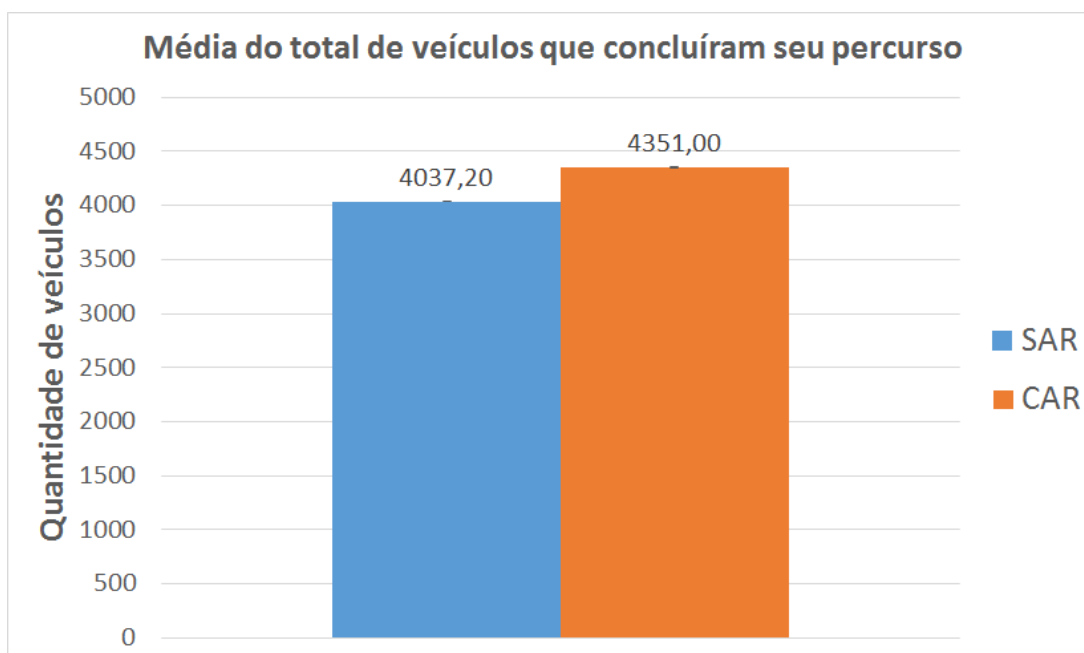


Figura 32 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 3.

#### 4.4.4 Região 4

Na Figura 33, apresenta-se um gráfico com a média do nível de congestionamento de todas as vias da região 4. Observa-se que a partir do tempo de 600 segundos inicia-se um crescimento do nível de congestionamento do cenário SAR, o que significa que algumas vias da região estão congestionadas. No cenário CAR, a média do nível de congestionamento varia um pouco e permanece próxima do nível 2 de congestionamento. Nesse cenário, os veículos alteram suas rotas baseadas nos níveis de congestionamentos e conseguem desviar dos congestionamentos. Por causa disso os carros se distribuem pelas vias, deixando-as bem menos congestionadas.

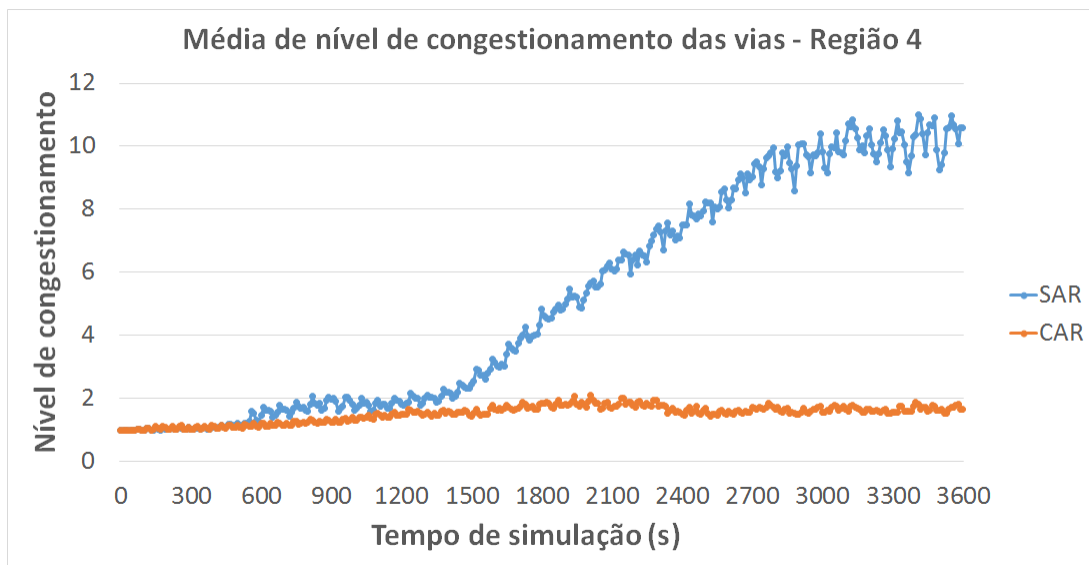


Figura 33 – Média do nível de congestionamento das vias - Região 4.

No gráfico apresentado na Figura 34, pode-se observar a média da quantidade de veículos que estão circulando na região 4 durante a simulação. A partir do tempo de 400 segundos é possível notar que inicia um aumento no número de veículos no cenário SAR. No cenário CAR, a quantidade de veículos mantém-se abaixo do cenário SAR e apresenta valores que variam entre 400 e 600. Por os veículos utilizarem rotas menos congestionadas, os veículos chegam em seus destinos mais rapidamente e por isso diminui-se o número de veículos ativos durante da simulação.

Na Figura 35, é apresentado o gráfico com a média do tempo de viagem de veículos que concluíram seus percursos. Por meio desse gráfico, pode-se observar um crescimento no tempo de viagem no cenário SAR porque os carros não alteram suas rotas e acumulam-se em congestionamentos. Ao contrário do cenário SAR, o cenário CAR apresenta melhores tempos de viagem ao longo do tempo simulado, pois os veículos se distribuem no cenário utilizando rotas menos congestionadas. A diferença entre os tempos de viagem chegam a ser de aproximadamente 600 segundos na última faixa de tempo.

No gráfico apresentado na Figura 36, pode-se observar a porcentagem média dos

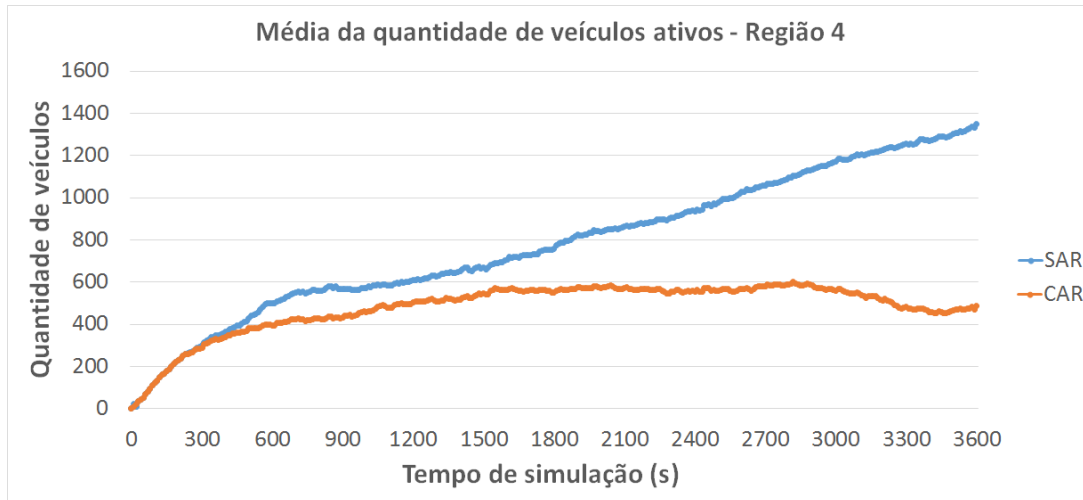


Figura 34 – Média da quantidade de veículos ativos - Região 4.

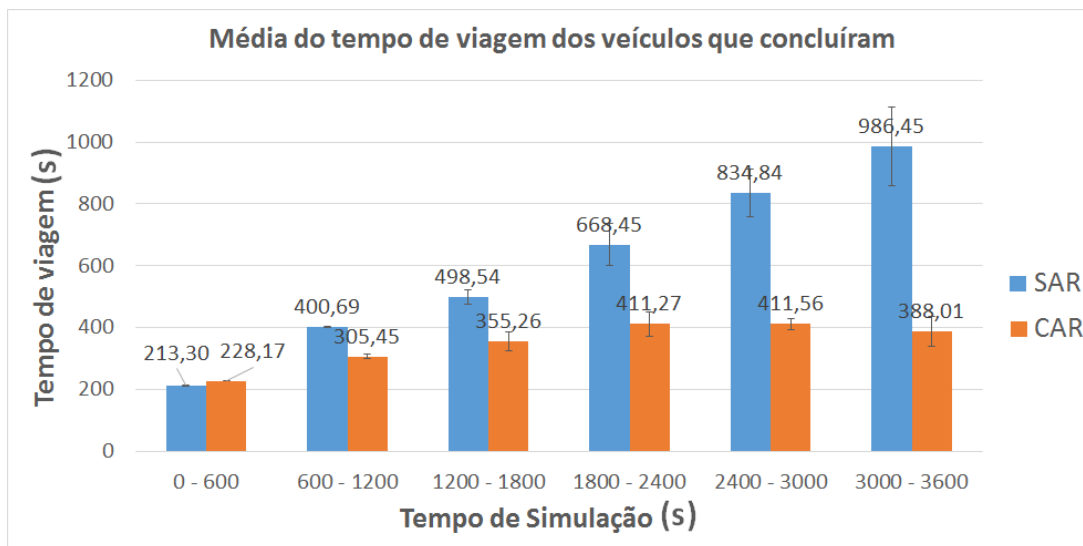


Figura 35 – Média do tempo de viagem dos veículos - Região 4.

veículos que concluíram seu percurso. Nesse gráfico, é possível notar que no cenário SAR no tempo de 600 à 3000 segundos diminui-se o seu percentual de conclusão gradativamente, sendo a mesma faixa de tempo que cresce a média do nível de congestionamento neste cenário no gráfico da Figura 33. No tempo de 3000 a 3600 segundos o percentual volta a crescer. Isso acontece porque os veículos presos em congestionamentos de faixas de tempo anteriores concluem seu percurso nessa faixa de tempo. O cenário CAR apresenta um percentual superior ao cenário SAR e mantém-se com um percentual acima de 50% durante toda simulação, atingindo um valor máximo de 66% no último intervalo de tempo.

Na Figura 37 é apresentado gráfico com a média do total de veículos que concluíram seu percurso na região 4. Neste gráfico, é possível observar que o cenário CAR obteve uma maior quantidade de veículos concluindo os seus percursos. Na região 4, a média do total da quantidade de veículos simulados é igual a 4796. Portanto, o cenário CAR conseguiu garantir que 87,1% dos carros concluíssem seu percurso, enquanto o cenário SAR atingiu



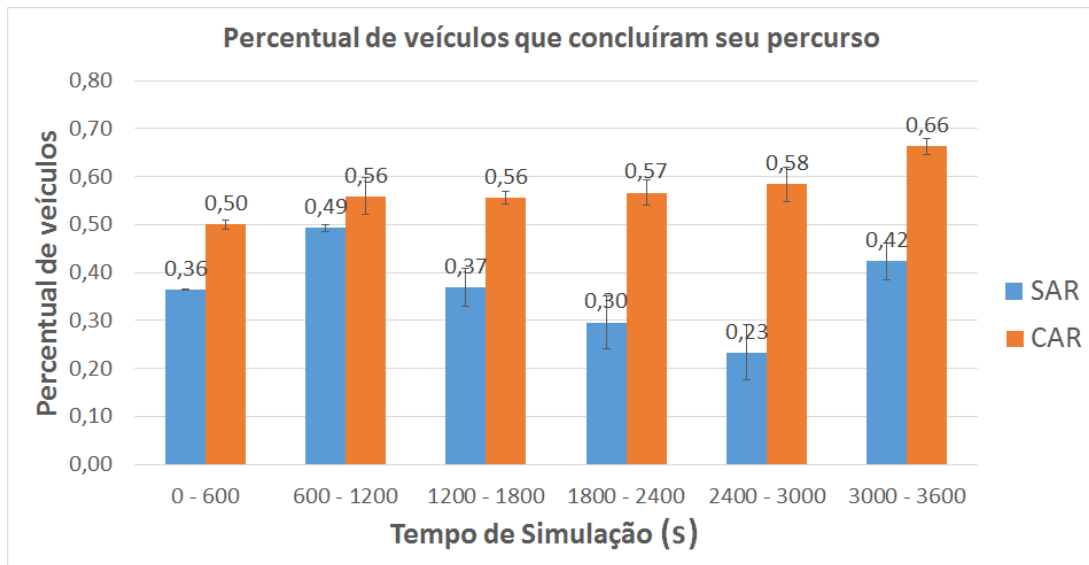


Figura 36 – Média da quantidade de veículos que concluíram seu percurso - Região 4.

apenas 52,1%.

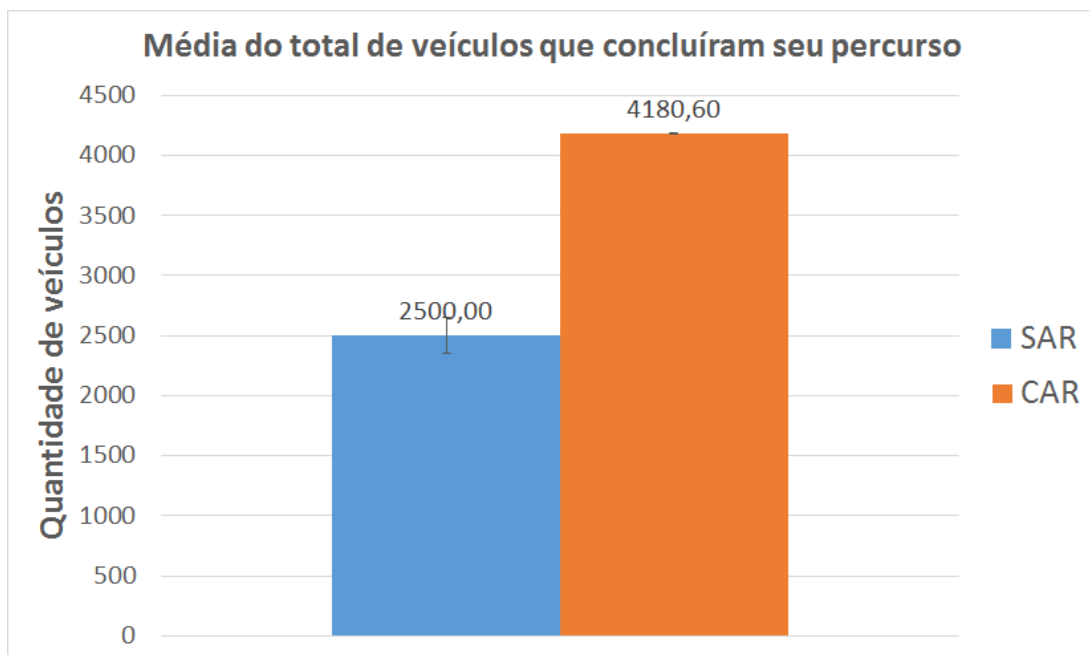


Figura 37 – Média do total de veículos que concluíram seu percurso - Região 4.

## 4.5 Considerações sobre o Estudo de Caso

Com o uso da metodologia proposta pôde-se comprovar experimentalmente que a divisão do cenário em regiões menores diminui o tempo de simulação dos protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos. Isso acontece porque diminuindo a área a ser simulada, diminui-se a quantidade de veículos e por isso menos mensagens são trocadas durante a simulação. Consequentemente, a quantidade de eventos de simulação do

experimento diminui e assim é possível reduzir tempo necessário para concluir a simulação. No gráfico apresentado na Figura 17, pode-se observar uma redução superior a 20 vezes no tempo da simulação do cenário completo em comparação com o cenário com as 4 regiões.

Dentre as regiões simuladas, as regiões 2 e 4 foram as que apresentaram os maiores níveis de congestionamentos. Essas regiões atingiram níveis máximos iguais a 25 e 11, respectivamente. A região 3 foi a região que apresentou os menores níveis de congestionamento. Nessa região foram observados níveis máximos de congestionamentos iguais a 2. Além disso, pode-se observar o exato momento de crescimento da quantidade de veículos e níveis de congestionamentos de cada região. Portanto, se alguma pesquisa sobre protocolos DMCV não for possível simular o cenário de *BolognaRingWay* completo, pode-se escolher as regiões 2 e/ou 4 para o estudo que deseja ser realizado.

Além disso, é importante destacar que esse estudo de avaliação e desempenho só foi possível ser realizado em tempo hábil por causa da metodologia proposta. Os experimentos de simulação desse estudo demorou 7 dias para simular cada região e suas respectivas replicações, totalizando um mês de simulações. De acordo com o gráfico da Figura 17, estima-se que a conclusão do estudo de avaliação e desempenho apresentado nessa seção demoraria aproximadamente 24 meses para concluir todas as simulações do protocolo DMCV.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho de mestrado foi proposta uma nova metodologia para simulação de protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de veículos em cenários que utilizam traces de tráfego. Com este trabalho pôde-se colaborar com a comunidade científica identificando as melhores áreas do cenário de *BolognaRingWay*, melhores momentos do trace e, principalmente, diminuindo o tempo de simulação dos experimentos que foram realizados.

Nos experimentos realizados foram avaliadas a quantidade total de eventos de simulação, o tempo de duração das simulações, a quantidade total de mensagens transmitidas e o total de veículos simulados. Por meio desses experimentos comprovou-se que é possível diminuir o tempo de simulação dividindo o cenário em regiões menores, apresentando uma melhora de 20 vezes comparando com tempo necessário para simular o cenário completo. Isso foi possível com a divisão das regiões, onde diminuiu-se a quantidade de mensagens trocadas entre os veículos durante a simulação. Um menor número de mensagens significa uma menor quantidade de eventos a serem simulados nos experimentos. Com menos eventos de simulação, cada experimento necessitou de menos tempo para concluir suas respectivas simulações.

Além disso, foi apresentado um estudo de avaliação e desempenho para exemplificar e confirmar a eficiência da metodologia proposta apresentando as características de mobilidade para cada região. Nesse estudo foram realizadas simulações utilizando um protocolo de detecção e minimização de congestionamentos V2V no cenário de *BolognaRingWay*. Por meio da metodologia proposta, foi possível realizar esse estudo de avaliação e desempenho em quatro semanas de simulações, enquanto que para concluir as mesmas simulações desse estudo sem o uso da metodologia foi de aproximadamente 24 meses.

A partir dos resultados do estudo de caso, foi possível propor uma metodologia para diminuir o tempo de simulação de protocolos DMCV em cenários realísticos e pôde-se observar detalhadamente o comportamento de cada região do cenário de *BolognaRingWay*. Essa metodologia, proposta neste trabalho de mestrado, será utilizada pelo grupo de pesquisa DiSNeL em suas pesquisas de redes veiculares para avaliar protocolos de detecção e minimização de congestionamentos de tráfego.

Como trabalhos futuros, deseja-se aplicar a metodologia proposta para outros cenários de larga escala que utilizam traces de tráfego sintético. Além disso, pretende-se desenvolver um estudo de avaliação de desempenho com mais protocolos de controle de congestionamento para compará-los entre si utilizando a metodologia desenvolvida.



# Referências

- AISSAOUI, R. et al. Advanced real-time traffic monitoring system based on v2x communications. In: *Communications (ICC), 2014 IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 2713–2718. Citado 4 vezes nas páginas 15, 17, 19 e 28.
- ALVES, R. d. S. et al. Uma análise experimental da capacidade de redes ad hoc veiculares. *SBrTSimpósio Brasileiro de Telecomunicações*, p. 8, 2008. Citado na página 9.
- ALVES, R. dos S.; CAMPBELL, I. do V.; COUTO, R. de S. Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. In: \_\_\_\_\_. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2009*. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação, 2009. cap. 5, p. 199–254. Citado 3 vezes nas páginas 1, 9 e 14.
- ARAÚJO, G. B. et al. Um protocolo de identificação e minimização de congestionamentos de tráfego para redes veiculares. In: *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Florianópolis - SC: [s.n.], 2014. p. 207 – 220. Citado 3 vezes nas páginas 15, 28 e 31.
- BEDOGNI, L. et al. The bologna ringway dataset: Improving road network conversion in sumo and validating urban mobility via navigation services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 64, n. 12, p. 5464–5476, Dec 2015. ISSN 0018-9545. Citado 4 vezes nas páginas 3, 22, 29 e 31.
- BRITO, M. R. de et al. Simulação e análise de métodos de detecção de congestionamento de veículos em vanet. In: *XIX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*. Florianópolis - SC: [s.n.], 2014. p. 191 – 201. Citado 3 vezes nas páginas 15, 19 e 31.
- BRITO, M. R. de et al. Transtree: Detecção de congestionamento utilizando redes veiculares. In: *XX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*. Vitória - ES: [s.n.], 2015. p. 160 – 173. Citado 4 vezes nas páginas 15, 19, 28 e 31.
- BROCH, J.; JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks. 2003. Citado na página 11.
- CAMBRUZZI, E. et al. Um sistema de gerenciamento de agrupamentos em redes veiculares. 2013. Citado na página 1.
- CHENG, L. et al. A measurement study of time-scaled 802.11 a waveforms over the mobile-to-mobile vehicular channel at 5.9 ghz. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 46, n. 5, p. 84–91, 2008. Citado na página 13.
- CINTRA, M. A crise do trânsito em são paulo e seus custos. *GV-executivo*, Julho 2013. Citado na página 1.
- CLAUSEN, T.; JACQUET, P. *Optimized link state routing protocol (OLSR)*. [S.l.], 2003. Citado na página 11.
- CODECA, L.; FRANK, R.; ENGEL, T. Luxembourg sumo traffic (lust) scenario: 24 hours of mobility for vehicular networking research. In: *Vehicular Networking Conference (VNC), 2015 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–8. Citado na página 21.

- CROW, B. P. et al. Ieee 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications magazine*, IEEE, v. 35, n. 9, p. 116–126, 1997. Citado na página 12.
- CUNHA, F. D. et al. Communication analysis of real vehicular calibrated traces. In: *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado na página 20.
- DARIDO, G. B.; PENA, I. G. B. Planejamento em sistemas de transportes inteligentes (its): Perspectivas das experiências internacionais. In: \_\_\_\_\_. *Sistemas Inteligentes de Transportes*. [S.l.]: Associação Nacional de Transportes Público (ANTP), 2012. v. 8, cap. 2, p. 199–254. Citado na página 1.
- DENATRAN. *Frota de veículos - Departamento Nacional de Trânsito*. 2015. <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. [Accessado em 25 de julho 2016]. Citado na página 4.
- ETSI. *Cars ‘Talking and Hearing in Harmony’ - a Smart Move for ETSI! Newly published ETSI Harmonized Standard enables market placement of radio equipment for road safety and traffic management*. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.etsi.org/index.php/news-events/news/226-press-release-30th-september-2008>>. Citado na página 12.
- FCC. *FCC allocates spectrum in 5.9 GHz range for intelligent transportation system uses*. 445 12th Street, S.W., Washington, D.C. 20554: [s.n.], 1999. Disponível em: <[https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/News\\_Releases/1999/nret9006.html](https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/1999/nret9006.html)>. Citado na página 11.
- FCC et al. *Amendment of the commission’s rules regarding dedicated short-range communication service in the 5.850-5.925 ghz band*. [S.l.], 2002. Citado na página 13.
- GARIP, M. T. et al. Scalable reactive vehicle-to-vehicle congestion avoidance mechanism. In: IEEE. *2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*. [S.l.], 2015. p. 943–948. Citado na página 15.
- GRAMAGLIA, M.; CALDERON, M.; BERNARDOS, C. Abeona monitored traffic: Vanet-assisted cooperative traffic congestion forecasting. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, IEEE, v. 9, n. 2, p. 50–57, 2014. Citado na página 31.
- IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Architecture. *IEEE Std 1609.0-2013*, p. 1–78, March 2014. Citado na página 12.
- JIANG, D.; DELGROSSI, L. Ieee 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: IEEE. *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*. [S.l.], 2008. p. 2036–2040. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- JÚNIOR, J. G. R. et al. Sistema para monitoramento descentralizado de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas. *XXXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 863–876, 2013. Citado na página 15.
- KRAJZEWICZ, D. et al. Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, v. 5, n. 3&4, p. 128–138, December 2012. Citado na página 31.

- MILOJEVIC, M.; RAKOCEVIC, V. Distributed road traffic congestion quantification using cooperative vanets. In: *Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET), 2014 13th Annual Mediterranean*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 203–210. Citado 5 vezes nas páginas 15, 19, 20, 26 e 31.
- NOORI, H.; VALKAMA, M. Impact of vanet-based v2x communication using ieee 802.11 p on reducing vehicles traveling time in realistic large scale urban area. In: *IEEE. Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2013 International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 654–661. Citado na página 3.
- OLARIU, S.; WEIGLE, M. C. *Vehicular Networks: From Theory to Practice, chapter Vehicular Mobility Models*. [S.l.]: Chapman and Hall / CRC, 2009. Citado na página 11.
- PERKINS, C.; BELDING-ROYER, E.; DAS, S. *Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing*. [S.l.], 2003. Citado na página 11.
- RODRIGUES, J. M. *Estado da Motorização individual no Brasil - Relatório 2015*. 2015. <<http://bit.ly/2b1L3Y8>>. [Publicado em 27 de setembro de 2015]. Citado na página 4.
- SCHRANK, D.; EISELE, B.; BAK, J. *2015 Urban Mobility Scorecard*. [S.l.], 2015. Citado na página 17.
- SILVA, F. et al. Conprova: A smart context provisioning middleware for vanet applications. In: *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–5. ISSN 1550-2252. Citado na página 15.
- SILVA, V. B. C. da et al. Wibus: Um sistema de monitoramento de transportes publicos usando redes ieee 802.11. *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 925–938, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 18.
- SOMMER, C.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved ivc analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, IEEE, v. 10, n. 1, p. 3–15, January 2011. Citado na página 31.
- SOUSA, R. S. de. *Protocolo de Sinalização de Congestionamento para Redes Veiculares*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brasil, 2016. Citado 6 vezes nas páginas 2, 3, 5, 20, 30 e 34.
- SOUSA, R. S. de; SOARES, A. C. B. Estimativa e sinalização de congestionamentos de tráfego através de redes veiculares v2v. *XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, p. 665 – 667, 2015. Citado 8 vezes nas páginas 12, 15, 19, 20, 28, 31, 37 e 38.
- TOMTOM. *TOMTOM TRAFFIC INDEX: MEASURING CONGESTION WORLDWIDE*. 2016. Disponível em: <[https://www.tomtom.com/en\\_gb/trafficindex/press](https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/press)>. Citado na página 1.
- UPPOOR, S. et al. Generation and analysis of a large-scale urban vehicular mobility dataset. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, v. 13, n. 5, p. 1061–1075, May 2014. ISSN 1536-1233. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 21.

VARGA, A.; HORNIG, R. An overview of the omnet++ simulation environment. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems & Workshops*. ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. (Simutools '08), p. 60:1–60:10. ISBN 978-963-9799-20-2. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1416222.1416290>>. Citado na página 31.

VASCONCELLOS, E. A. de. Congestionamento no trânsito e financiamento da mobilidade—avaliação dos estudos no brasil e das perspectivas metodológicas. *Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano*, v. 36, p. 1º, 2014. Citado na página 1.

WANGHAM, M. S. et al. Segurança em redes veiculares: Inovações e direções futuras. In: \_\_\_\_\_. *Minicursos do Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais - SBSeg 2014*. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação, 2014. cap. 4, p. 145–194. Citado na página 14.