

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Dissertação de Mestrado

Análise do Efeito dos Parâmetros do Ambiente em
Protocolos de Roteamento para Redes Veiculares

José Anderson Rodrigues de Souza

Campina Grande, Paraíba, Brasil

Agosto, 2018

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Análise do Efeito dos Parâmetros do Ambiente em Protocolos de Roteamento para Redes Veiculares

José Anderson Rodrigues de Souza

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande
- Campus Campina Grande como parte dos requisitos necessários para
obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação

Linha de Pesquisa: Redes Veiculares

Reinaldo César de Moraes Gomes, Anderson Fabiano Batista Ferreira da Costa
(Orientadores)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©José Anderson Rodrigues de Souza, 28/08/2018

S729a Souza, José Anderson Rodrigues de.
Análise do efeito dos parâmetros do ambiente em protocolos de roteamento para redes veiculares / José Anderson Rodrigues de Souza. – Campina Grande, 2018.
100 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. Reinaldo César de Moraes Gomes; Coorientação: Prof. Dr. Anderson Fabiano Batista Ferreira da Costa."

Referências.

1. Redes veiculares. 2. Protocolos de roteamento. 3. Modelos de mobilidade. I. Gomes, Reinaldo César de Moraes. II. Costa, Anderson Fabiano Batista Ferreira da. III. Título.

CDU 004.7(043)

**“ANÁLISE DO EFEITO DOS PARÂMETROS DO AMBIENTE EM PROTOCOLOS DE
ROTEAMENTO PARA REDES DE VEICULARES”**

JOSÉ ANDERSON RODRIGUES DE SOUZA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/08/2018

REINALDO CÉZAR DE MORAIS GOMES, Dr., UFCG
Orientador(a)

ANDERSON FABIANO BATISTA FERREIRA DA COSTA, Dr., IFPB
Orientador(a)

JOSEANA MACÊDO FECHINE RÉGIS DE ARAÚJO, Dra., UFCG
Examinador(a)

EDMAR CANDEIA GURJÃO, D.Sc, UFCG
Examinador(a)

ELMANO RAMALHO CAVALCANTI, Dr., IFPE
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Resumo

O aumento da utilização de uma rede veicular depende de vários fatores para cumprir os requisitos de transferência dos dados e entrega dos pacotes. Nesse contexto, as redes podem divergir em velocidade dos nós, posicionamento geográfico e variações de ambientes. A escolha de cada parâmetro na simulação é fundamental na obtenção de dados mais precisos e realísticos ao ambiente simulado. O objetivo deste trabalho é analisar o efeito dos parâmetros do ambiente em protocolos de roteamento na comunicação veicular. Inicialmente, foi feito um levantamento sistemático para enfatizar os principais parâmetros utilizados na literatura ao longo dos últimos onze anos em conferências e periódicos. Posteriormente, tendo como base os dados coletados no estudo inicial, foram definidos os *softwares* e parâmetros de simulação para comparar o desempenho do protocolo de roteamento OLSR (*Optimized Link State Routing*) e GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*). A partir da coleta dos dados, observou-se que a métrica de taxa de entrega de pacotes proporcionou os melhores resultados no cenário e o protocolo OLSR foi superior ao GPSR na maioria dos cenários. No entanto, o protocolo OLSR apresentou os valores de atraso maiores em comparação com o protocolo GPSR. O protocolo OLSR obteve os maiores valores de sobrecarga, pois tendem a gerar uma alta carga de mensagens de roteamento, e os nós continuamente emitem mensagens, mesmo quando não participam da comunicação.

Palavras-chave: Redes Veiculares, Protocolos de Roteamento e Modelos de Mobilidade.

Abstract

Increasing the usability of a vehicle network depends on several factors to meet the requirements of data transfer and package delivery. In this context, networks may differ in node velocity, geographical positioning and environmental variations. The choice of each parameter in the simulation is fundamental in obtaining more accurate and realistic data to the simulated environment. The objective of this work is to analyze the effect of the environment parameters on routing protocols in vehicular communication. Initially, a systematic survey was made to emphasize the main parameters used in the literature over the last eleven years in conferences and periodicals. Based on the data collected in the initial study, software and simulation parameters were defined to compare the performance of the OLSR (Optimized Link State Routing) and GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) routing protocols. From the data collection, it was observed that the packet delivery rate metric provided the best results in the scenario and the OLSR protocol was superior to the GPSR in most scenarios. However, the OLSR protocol presented the largest delay values compared to the GPSR protocol. The OLSR protocol obtained the highest values of overhead because they tend to generate a high load of routing messages, and the nodes continuously send messages, even when they do not participate in the communication.

Keywords: Vehicular Networks, Routing Protocols and Mobility Models.

Dedicatória

Aos meus pais. Em especial, à memória do meu pai, Ailton José, que me motivou durante esta caminhada, porém descansou antes de vê-la concluída.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter dado saúde e força para superar as dificuldades e finalizar mais uma etapa da minha vida. Aos meus familiares, minha mãe Wandinalva Pereira de Souza, ao meu pai Ailton José Rodrigues de Sousa o qual não pode acompanhar o final dessa trajetória, porém sempre acreditou que conseguiria atingir mais este objetivo, e ao meu irmão Alisson Rodrigues de Sousa e meu sobrinho Gabriel Nunes Rodrigues por proporcionar momentos de descontração e felicidade, os quais são meu alicerce e porto seguro.

Aos professores que no decorrer do mestrado foram extremamente importantes ao passar seus conhecimentos de forma motivadora. Agradeço aos professores Reinaldo César de Moraes Gomes e Anderson Fabiano Batista da Costa pela orientação, apoio, dedicação e paciência durante todo o curso. Agradeço também a Elmano Ramalho Cavalcanti pela ajuda no desenvolvimento da pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo custeio da bolsa ao longo desta jornada.

Aos colegas do Laboratório de Teleinformática - Latec, Petrônio Carlos Bezerra, César Rocha Vasconcelos e Saulo Aislan da Silva Eleuterio por sempre estarem dispostos a ajudar na resolução de problemas acadêmicos, seja administrativo ou acadêmico. Por fim, ao meu amigo Teles de Sales Bezerra que acompanhou esta jornada de perto desde o início, agradeço pela amizade, confiança, ajuda nas disciplinas e pelo apoio tanto na vida profissional quanto pessoal.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Relevância	4
1.4	Questões de Pesquisa	5
1.5	Estrutura da Dissertação	6
2	Protocolos de Roteamento e Modelos de Mobilidade	8
2.1	Protocolos de Roteamento	8
2.1.1	Roteamento Baseado em Topologia	10
2.1.2	Roteamento Geográfico	12
2.2	Modelos de Mobilidade	14
2.2.1	Sintético	16
2.2.2	Realístico	18
2.3	Ambientes	19
2.4	Modelos de Propagação	21
2.4.1	<i>Two Ray Ground</i>	21
2.5	Pesquisas Relacionadas	22
2.6	Conclusão	24
3	Levantamento Sistemático sobre Redes Veiculares	25
3.1	Introdução	25
3.2	Pesquisas Relacionadas	27
3.3	Resultados da Pesquisa	29

3.3.1	Visão geral da pesquisa VANET na última década	29
3.3.2	A comunidade de pesquisa MANET/VANET evoluiu na realização de estudos baseados em simulação?	34
3.3.3	Ferramentas, modelos e preferências de protocolos na pesquisa de VANET	39
3.4	Discussão	43
3.5	Conclusão	46
4	Materiais e Métodos	47
4.1	Simuladores e <i>Frameworks</i>	47
4.1.1	OMNeT++	48
4.1.2	INET	48
4.1.3	VanetMobiSim	49
4.2	Ambientes	49
4.3	Descrição dos Cenários	51
4.4	Execução das Simulações	53
4.5	Métricas de Desempenho	53
4.6	Conclusão	54
5	Apresentação e Análise dos Resultados	55
5.1	Avaliação dos Protocolos de Roteamento	56
5.1.1	Quando modifica o tipo do mapa o desempenho dos protocolos de roteamento melhora?	56
5.1.2	A velocidade dos veículos afeta o desempenho dos protocolos de roteamento?	59
5.1.3	De que modo a quantidade dos nós no ambiente afeta as métricas de PDR, atraso fim a fim e <i>overhead</i> ?	63
5.1.4	O tamanho do mapa pode ocasionar melhores resultados dos protocolos de roteamento?	66
5.2	Conclusão	70
6	Conclusão e Sugestão para Trabalhos Futuros	71

6.1	Contribuições	71
6.2	Conclusões	72
6.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	73

Lista de Figuras

1.1	Ambiente das VANET.	3
2.1	Funcionamento de um protocolo de roteamento para redes veiculares.	9
2.2	Taxonomia de protocolos de roteamento em VANET.	10
2.3	Retransmissores multiponto (MPR) no protocolo OLSR.	11
2.4	Fluxograma básico de ilustração do Protocolo GPSR.	13
2.5	Funcionamento do Protocolo GPSR.	14
2.6	Classificação de Modelos de Mobilidade Veicular.	16
2.7	Exemplos de topologias rodoviárias.	17
2.8	Gerenciamento de interseção em IDM-IM e IDM-LC.	18
2.9	Exemplos de ambientes rurais.	19
2.10	Exemplos de ambientes urbanos.	20
2.11	Exemplos de ambientes rodoviários.	20
2.12	Modelo de propagação <i>Two Ray Ground</i>	21
3.1	Número de artigos indexados sobre MANET e VANET no <i>Google Scholar</i> entre 2006 e 2017.	26
3.2	Os principais tópicos de pesquisa em VANETs.	32
3.3	Método de avaliação empregado.	35
3.4	Preferência do simulador de rede.	39
3.5	Ambiente de simulação de mobilidade.	40
3.6	Quantidade de veículos utilizados durante a simulação.	40
3.7	Duração de tempo das simulações.	41
3.8	Tendências de pesquisa para as aplicações em VANETs.	41
3.9	Tipo ou estilo de mapa.	42

4.1	Mapa sintético em forma de grade.	50
4.2	Trecho de mapa da cidade de Campina Grande.	51
5.1	Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.	56
5.2	Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.	57
5.3	Comparativo do <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.	58
5.4	Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.	60
5.5	Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.	61
5.6	Comparativo do <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.	62
5.7	Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.	64
5.8	Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.	65
5.9	Comparativo do <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.	66
5.10	Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.	67
5.11	Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.	68
5.12	Comparativo do <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.	69

Lista de Tabelas

2.1	Resumo das Pesquisas Relacionads	23
3.1	Categorias de pesquisa de nível superior em VANETs.	31
3.2	VANET simulação <i>freeware/software</i> de código aberto.	33
3.3	Repositórios de dados de pesquisa.	37
3.4	Comparação de resultados de pesquisas para artigos publicados na confe- rência MobiHoc da ACM (2000-2005) e nas conferências VTC do IEEE, MobiCom da ACM e MobiHoc da ACM, e a revista TMC do IEEE (2007- 2017).	38
3.5	Resultados da pesquisa sobre as preferências dos pesquisadores em modelos de mobilidade e propagação e protocolos de roteamento em estudos baseados em simulação.	44
4.1	Parâmetros de Simulação e Configuração dos Cenários.	52
5.1	Comparativo da métrica de <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento no cená- rio real e sintético.	59
5.2	Comparativo da métrica de <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento no cená- rio real e sintético.	63
5.3	Comparativo da métrica de <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.	66
5.4	Comparativo da métrica de <i>overhead</i> dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.	69

Lista de Abreviações

C2C-CC Consórcio de Comunicação CAR 2 CAR, em inglês *CAR 2 CAR Communication Consortium*

CCR *Computer Communication Review*

Denatran Departamento Nacional de Trânsito

DTN Rede Tolerante a Atrasos e Interrupções, em inglês *Delay Tolerant Network*

GPS Sistema de Posicionamento Global

GPSR *Greedy Perimeter Stateless Routing*

IDM-IM Modelo de Motorista Inteligente com Gerenciamento de Interseção, em inglês *Intelligent Driver Model with Intersection Management*

IDM-LC Modelo de Motorista Inteligente com Mudanças de Faixa, em inglês *Intelligent Driver Model with Lane Changes*

ITS Sistema de Transporte Inteligente, em inglês *Intelligent Transportation Systems*

Mobicom Conferência Internacional Anual sobre Computação Móvel e Redes, em inglês *International Conference on Mobile Computing and Networking*

MobiHoc Simpósio Internacional da ACM sobre Redes e Computação *Ad Hoc* Móvel, em inglês *International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*

MPR Retransmissões Multiponto, em inglês *multipoint relays*

OICA Organização Internacional de Construtores de Automóveis, em francês *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*

OLSR *Optimized Link State Routing*

OMNeT++ *Objective Modular Network Testbed in C++*

OSI Interconexão de Sistemas Abertos, em inglês *Open Systems Interconnection*

PDR Taxa de Entrega dos Pacotes, em inglês *Packet Delivery Ratio*

QoS Qualidade de Serviço, em inglês *Quality of Service*

SIGCOMM Grupo de Interesse Especial sobre Comunicação de Dados, em inglês *Special Interest Group on Data Communication*

SINDIPEÇAS Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

TMC *Transactions on Mobile Computing*

TRG Modelo de dois raios, em inglês *Two Ray Ground*

V2I Veículo para Infraestrutura, em inglês *Vehicle-to-Infrastructure*

V2V Veículo a Veículo, em inglês *Vehicle-to-Vehicle*

V2X Veículo para Tudo, em inglês *Vehicle-to-Everything*

VTC Conferência de Tecnologia Veicular, em inglês *Vehicular Technology Conference*

ZRP *Zone Routing Protocol*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

Neste mundo, cada vez mais interligado, há uma demanda crescente por conectividade a todo momento e em qualquer lugar. As redes sem fio desempenham um papel fundamental nessa tarefa, tornando possível que o usuário possa se conectar em sua casa, no trabalho, no shopping e até mesmos nos veículos que usa para se deslocar. Este novo cenário vem chamando a atenção dos pesquisadores e da indústria automobilística [1], que desenvolvem soluções capazes de integrar as redes sem fio em veículos automotores com aplicações que permitam verificar, por exemplo as condições da pista, como a alagamentos, acidentes ou congestionamentos.

Segundo uma análise estatística da Organização Internacional dos Fabricantes de Automóveis (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles* - OICA), há uma tendência da frota mundial de veículos continuar crescendo, o que conseqüentemente aumentará a oferta das redes veiculares e impulsionará o desenvolvimento de novas aplicações [2]. No Brasil, os dados publicados no início de 2017 pelo Sindipeças (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores), que teve como base os dados oficiais do Denatran (Departamento Nacional de Trânsito), concluiu que houve um crescimento entre 2015 e 2016 de, aproximadamente, 0,7%, ou seja, sua frota passou de 42,58 milhões para 42,87 milhões, composta por carros, caminhões e ônibus [3; 4].

O paradigma de compartilhamento de informações entre veículos permitirá que uma va-

riedade de aplicações para segurança, eficiência de tráfego e sensoriamento urbano, seja incorporada em projetos de veículos modernos. Há uma nova tendência que está evoluindo rapidamente a partir de uma coleção de plataformas de sensores que são capazes de fornecer diversas informações para os motoristas e os dados para a nuvem. A indústria, o meio acadêmico e os governos de todo o mundo estão dedicando recursos expressivos na implantação de redes veiculares para ter uma infraestrutura de transporte mais segura [5].

Nesse contexto, uma infraestrutura de transporte pode fornecer informações sobre engarrafamentos, acidentes, condições perigosas da estrada, possíveis desvios e condições climáticas, dentre outras aplicações. Um sistema mais eficiente pode significar um aumento da capacidade da rede rodoviária, uma redução do congestionamento e da poluição [6], reduzir o tempo de duração da viagem, menores custos operacionais dos veículos e maior eficiência do sistema de transporte público.

Os veículos podem também ser utilizados para recolher, analisar e partilhar dados de uma área de interesse [7], em aplicações como: vigilância civil, controle da poluição, planejamento do tráfego e inúmeras outras aplicações urbanas. Essas aplicações são exemplos típicos de um Sistema de Transporte Inteligente (ITS, em inglês, *Intelligent Transport Systems*), cujo objetivo é melhorar a segurança, eficiência e conscientização urbana do uso de novas tecnologias de informação e comunicação [5].

Um componente importante de um ITS é a Rede *Ad Hoc* Veicular (VANET, em inglês, *Vehicle Ad Hoc Networks*) que permite o intercâmbio de informações entre veículos. A VANET é um caso especial de uma Rede *Ad Hoc* Móvel (MANET, em inglês, *Mobile Ad Hoc Networks*), em que os veículos são equipados com recursos de processamento e podem criar uma rede espontânea enquanto se movem ao longo das estradas. Há um grande número de fabricantes de automóveis fornecendo veículos com acesso à internet, dispositivos de comunicação sem fio e sistemas de navegação [5].

Existem duas formas de comunicação em sistemas de redes veiculares, que são destinadas a várias aplicações como aviso de colisão, acesso à internet e outros [8]: Veículo a Veículo (V2V, em inglês, *Vehicle-to-Vehicle*) e Veículo para Infraestrutura (V2I, em inglês, *Vehicle-to-Infrastructure*) [9]. Na comunicação V2V cada veículo pode agir como um roteador para se comunicar com os outros sem depender do suporte de uma infraestrutura fixa, que é diferente da comunicação V2I em que a comunicação é feita entre o veículo e a infra-

estrutura.

O ambiente em que as redes veiculares estão inseridas, conforme a Figura 1.1, possui características particulares que representam desafios na comunicação entre veículos. Algumas dessas características são: a alta mobilidade dos nós, mudanças constantes na topologia da rede, a existência de redes densas podem ocasionar altas taxas de perdas de pacotes por congestionamento na rede e a existência de redes esparsas que dificultam a disseminação de informações [10].

Figura 1.1: Ambiente das VANET.



Fonte: [11].

VANET é uma tecnologia emergente, em que muitas aplicações já foram desenvolvidas e implementadas para ambientes de redes veiculares [12]. No entanto, a falta de aplicabilidade da ciência de mobilidade nas redes veiculares pode tornar todas as opções de roteamento ou mobilidade subutilizadas.

1.2 Objetivos

Este trabalho propõe analisar o efeito dos parâmetros do ambiente em protocolos de roteamento aplicados à cenários de redes veiculares. Para validar a discussão teórica, foram definidos cenários distintos com variações do número de nós, tipos de ambientes, taxa de bits, velocidade da mobilidade dos nós e protocolos de roteamento. As métricas usadas neste estudo foram a taxa de entrega de pacotes, atraso fim a fim e *overhead*.

Pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar uma revisão sistemática sobre os principais parâmetros de simulação, den-

tre eles: modelos de mobilidade, protocolos de roteamento, número de nós, tempo de simulação, tipos de mapas (sintético ou real) e disponibilização do código fonte;

- Verificar se existe alguma influência nas métricas ao utilizar protocolos de roteamento destinados ao ambiente de redes veiculares;
- Identificar a influência da quantidade dos nós no ambiente;
- Observar a influência da alteração das características de mobilidade na simulação; e
- Comparar os resultados baseados nos dois mapas de simulação (real e sintético).

1.3 Relevância

Embora já tenham sido alcançados desenvolvimentos notáveis em VANETs, ainda há muitos desafios a serem solucionados, tanto no campo teórico, como a alta mobilidade e dispersão dos veículos [13], quanto no campo de projetos e implementações, como segurança, privacidade, roteamento, escalabilidade e qualidade de serviço (QoS, em inglês, *Quality of Service*) [14]. Os principais aspectos que este trabalho irá abordar serão os diferentes tipos de protocolos de roteamento, modelos de mobilidade, número de nós, tamanho e tipos de ambientes aos quais as redes veiculares podem ser aplicadas.

Para contornar o problema ocasionado pela natureza dinâmica das redes veiculares, parâmetros de mobilidade passaram a ser utilizados em protocolos de roteamento. A dinamicidade e a diversidade de cenários existentes nas redes veiculares são fatores que podem contribuir para tornar o roteamento uma etapa desafiadora, pois cada cenário possui características peculiares que influenciam no padrão de mobilidade dos nós [15].

Devido ao caráter específico dos protocolos encontrados na literatura, assim como a necessidade de novos protocolos de roteamento capazes de desempenhar sua função de forma mais satisfatória nos diversos tipos de ambientes de redes veiculares, vários esforços são realizados com o intuito de desenvolver um protocolo híbrido para todos os ambientes [16; 17]. Desse modo, muitos fatores podem afetar a comunicação entre os veículos, como por exemplo, a topologia da rede, protocolo de roteamento, modelo de mobilidade e o ambiente.

Contudo, apesar de existirem várias soluções propostas para o problema do roteamento em redes veiculares, ainda não está claro quais podem ser as características específicas que

os protocolos devem levar em consideração ao analisar as métricas de qualidade de serviço implementadas em VANET, já que não há uma solução de desempenho satisfatória aplicada para ambientes urbanos e rodoviários, bem como em ambientes esparsos e densos [18].

1.4 Questões de Pesquisa

O objetivo da pesquisa é ressaltar a importância da escolha dos parâmetros de simulação em redes veiculares. Neste caso, será necessário comparar parâmetros específicos de cada protocolo de roteamento para avaliar e comparar qual foi o protocolo de roteamento que apresentou resultados satisfatórios em cada cenário de acordo com a mudança das características do ambiente.

Principais questões de pesquisa

P1: Qual protocolo de roteamento apresentou melhor desempenho, o protocolo A ou B?

Em que A seja o protocolo GPSR e o protocolo B o protocolo OLSR.

- H1-0: não há diferença entre os protocolos de roteamento, ambos proporcionaram o mesmo desempenho.
- H1-1: há diferenças, o protocolo de roteamento A apresentou desempenho melhor do que B.
- H1-2: há diferenças, o protocolo de roteamento B apresentou desempenho melhor do que A.

P2: Quando se modifica o tipo do mapa, o desempenho dos protocolos de roteamento melhora?

- H2-0: não há diferença nos resultados se houver mudança no tipo do mapa.
- H2-1: há diferença nos resultados se houver mudança no tipo do mapa.

P3: A velocidade dos veículos afeta o desempenho dos protocolos de roteamento?

- H3-0: a velocidade dos veículos não afeta o desempenho dos protocolos de roteamento.

- H3-1: a velocidade dos veículos afeta o desempenho dos protocolos de roteamento.

P4: De que modo a quantidade dos nós no ambiente afeta as métricas de taxa de entrega dos pacotes, atraso fim a fim e *overhead*?

- H4-0: não há influência na taxa de entrega dos pacotes, atraso e *overhead* se houver quantidade dos nós no ambiente.
- H4-1: há influência na taxa de entrega dos pacotes, atraso e *overhead* se houver quantidade dos nós no ambiente.
- H4-2: há influência apenas na taxa de entrega dos pacotes se houver quantidade dos nós no ambiente.
- H4-3: há influência apenas no atraso se houver quantidade dos nós no ambiente.
- H4-4: há influência apenas no *overhead* se houver quantidade dos nós no ambiente.

P5: O tamanho do mapa pode ocasionar melhores resultados dos protocolos de roteamento?

- H5-0: não há melhoria dos protocolos de roteamento quando é modificado o tamanho do mapa.
- H5-1: há melhoria dos protocolos de roteamento quando é modificado o tamanho do mapa.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos que abrangem conteúdos descrito a seguir.

- Capítulo 2

É apresentado o referencial teórico sobre os protocolos de roteamento e os modelos de mobilidade. Será feita uma análise comparativa entre os principais modelos utilizados na literatura, as principais vantagens e desvantagens de cada modelo, além dos principais ambientes.

- Capítulo 3

Dispõe de um levantamento sistemático realizado sobre pesquisas realizadas com foco nas redes veiculares ao longo dos últimos onze anos. São apresentados pesquisas relacionadas, metodologia de trabalho aplicada e os principais resultados obtidos nesta análise para validar o estudo.

- Capítulo 4

São apresentadas os programas necessárias para trabalhar com a simulação de redes veiculares, as quais incluem ferramentas específicas para trabalhar com a mobilidade dos veículos e simulação de rede, que podem ser aplicadas a cenários distintos. É apresentada também uma descrição de quais foram as métricas de desempenho abordadas neste trabalho.

- Capítulo 5

São apresentados, de forma mais detalhada, as justificativas para a realização deste trabalho, assim como, são apresentados os resultados alcançados nas simulações realizadas neste trabalho, sendo discutida a aplicabilidade da ciência da mobilidade.

- Capítulo 6

São apresentadas as conclusões do trabalho e as perspectivas para pesquisas futuros.

Capítulo 2

Protocolos de Roteamento e Modelos de Mobilidade

O roteamento em redes veiculares é uma tarefa desafiadora devido à alta mobilidade dos nós e à instabilidade dos enlaces sem fio. Por essa razão, tem sido alvo de vários trabalhos de pesquisa. Vários protocolos para redes veiculares já foram propostos na literatura. O ponto comum entre os principais protocolos é a utilização de parâmetros de mobilidade nas métricas de seleção de melhores rotas. Nesse contexto, para que as redes veiculares se tornem uma realidade para os usuários, é necessário solucionar desafios de pesquisa existentes.

Neste capítulo são apresentadas as redes veiculares e suas principais características e desafios. Na Seção 2.1 são apresentados os principais protocolos de roteamento e suas respectivas subcategorias. Na Seção 2.2 são descritas as principais características e abordagens dos modelos de mobilidade. Na Seção 2.3 são apresentados os ambientes destinados às redes veiculares. Na Seção 2.4 são apresentadas as principais pesquisas relacionadas à área de VANET. Por fim, na Seção 2.5 são apresentadas as principais conclusões sobre o capítulo.

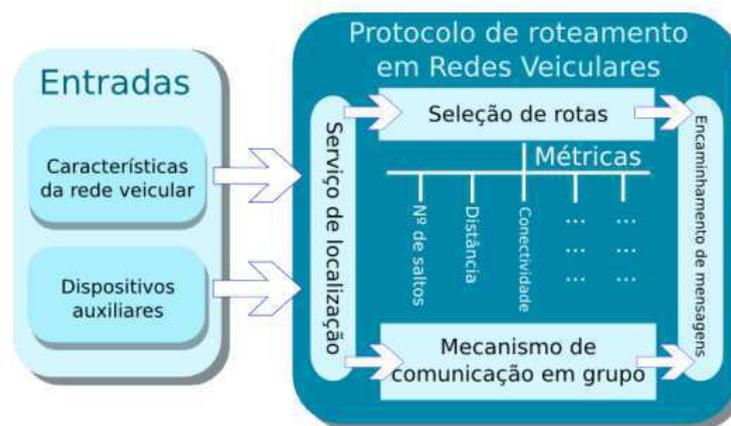
2.1 Protocolos de Roteamento

A principal característica de uma rede *ad hoc* é a comunicação sem fio de múltiplos saltos. Por meio desse tipo de comunicação entre nós móveis, é possível enviar mensagens para destinos que não estejam na área de transmissão do nó de origem [15]. O destino pode estar localizado a vários saltos de distância, e nesse caso os nós intermediários realizaram o

encaminhamento das mensagens até o destino.

Com a finalidade de maximizar o desempenho de protocolos de roteamento em redes veiculares, deve-se considerar diversos fatores, tais como: seleção de rotas, encaminhamento de mensagens, mecanismos de comunicação em grupo e serviço de localização, conforme apresenta a Figura 2.1. A complexidade dessas funções podem variar de acordo com o tipo da rede onde será realizado o roteamento [19].

Figura 2.1: Funcionamento de um protocolo de roteamento para redes veiculares.



Fonte: [20].

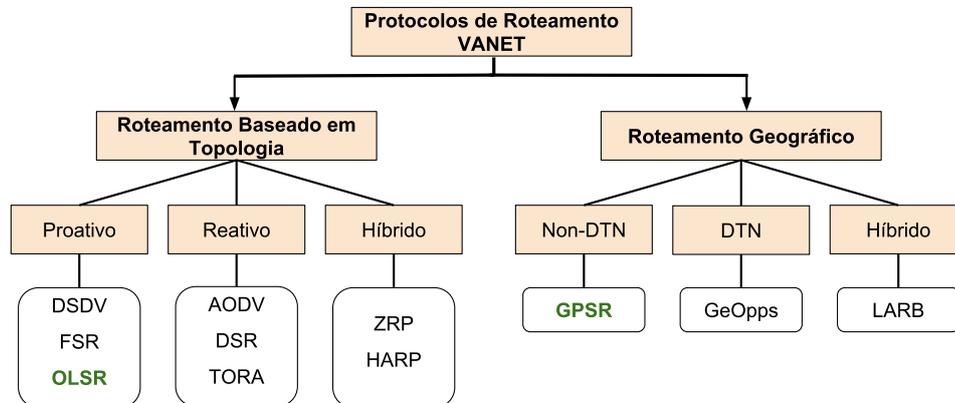
Um protocolo de roteamento encaminha as informações entre o emissor e o receptor de modo a manter uma rota ou recuperá-la, caso ocorra alguma falha de roteamento. O roteamento de pacotes em redes *ad hoc* pode ocorrer nas seguintes modalidades: *multicast*, *broadcast* e *unicast* [21]. No roteamento *multicast*, a entrega é feita para um grupo de usuários, enquanto que no roteamento *broadcast*, a entrega ocorre para todos os pontos de uma rede [22].

Este trabalho aborda o roteamento *unicast*, no qual a entrega dos dados ocorre de maneira simples, ponto-a-ponto, sendo usado pela maior parte das aplicações existentes e ideal para redes em que as topologias mudam constantemente e cujos recursos são limitados.

Os protocolos de roteamento podem ser divididos em duas subcategorias: Roteamento Baseado em Topologia e Roteamento Geográfico [23], conforme a Figura 2.2.

Os protocolos de roteamento baseados em topologia utilizam as informações do estado do *link* de comunicação para encaminhar o pacote. O roteamento geográfico utiliza as informações de localização do destino para encaminhar o pacote. O roteamento baseado em

Figura 2.2: Taxonomia de protocolos de roteamento em VANET.



Fonte: Adaptado de [20].

topologia pode ser categorizado como Proativo, Reativo ou Híbrido. Um protocolo de roteamento geográfico pode ser categorizado em non-DTN, DTN (Rede Tolerante a Atrasos e Interrupções) ou Híbrido [24],[20].

Na Figura 2.2 é apresentada a taxonomia dos protocolos de roteamento em VANET. Nesta seção serão abordados os principais protocolos de roteamento, além de apresentados as suas vantagens e desvantagens, em especial para os protocolos OLSR e GPSR, que são *unicast*.

2.1.1 Roteamento Baseado em Topologia

Proativo

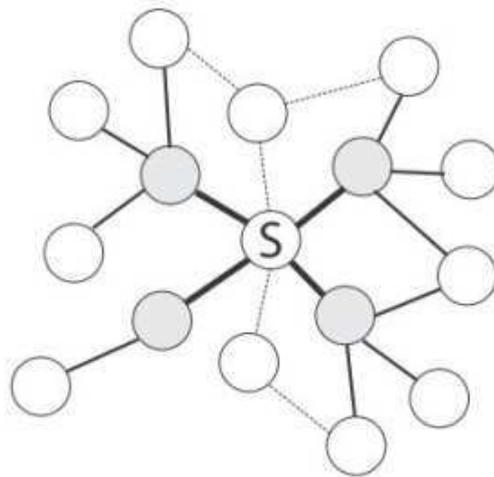
O roteamento proativo caracteriza-se por realizar continuamente a determinação de rotas, independente da necessidade da rota e do tráfego existente na rede [25]. Utilizam-se tabelas de roteamento para armazenar e manter as rotas atualizadas. A principal vantagem desta classe de protocolos é a disponibilidade imediata de rotas, reduzindo assim o atraso inicial de descoberta (estabelecimento) da rota. Por outro lado, a mobilidade pode provocar intervalos elevados de perda de conectividade, durante a descoberta de uma nova rota válida [22]. São exemplos de protocolos de roteamento proativos: DSDV [26], FSR [20] e OLSR [23].

Optimized Link State Routing (OLSR)

O protocolo OLSR foi proposto por Clausen et al. [27]. É uma adaptação dos clássicos protocolos de estado de enlace (e.g., OSPF) da Internet. A chave de funcionamento deste protocolo é o conjunto de nós retransmissores multiponto (*multipoint relays* - MPR). O MPR de um nó é o conjunto de seus vizinhos que são capazes de alcançar todos os nós situados a dois saltos de distância dele [28].

Apenas os nós pertencentes ao MPR darão continuidade às transmissões *broadcast* iniciadas pelo nó fonte, reduzindo a sobrecarga de controle. Na Figura 2.3 os quatro nós que compõem o MPR do nó S estão destacados.

Figura 2.3: Retransmissores multiponto (MPR) no protocolo OLSR.



Fonte: [28].

Todos os nós da rede mantêm uma lista com os MPRs designados para retransmitir seus pacotes enviados. As informações contidas nesta lista são anunciadas periodicamente na rede, o que ajuda os dispositivos a identificarem a topologia da rede. Com o objetivo de evitar que mensagens duplicadas sejam processadas por um mesmo nó, uma outra lista também é armazenada, contendo informações das mensagens recebidas pelo nó [22].

Em relação à política de retransmissão, um nó deverá retransmitir um pacote recebido caso duas condições sejam satisfeitas: (1) o pacote ainda não tenha sido recebido; e (2) caso o nó faça parte do conjunto MPR do último nó emissor. Além disso, mensagens de controle de topologia (CT) são periodicamente enviadas para difundir informações sobre a topologia da rede [28].

Reativo

O roteamento reativo caracteriza-se por atuar sob demanda, criando e mantendo rotas somente quando requisitados por um determinado nó [29]. Apresenta como vantagem a otimização do uso de recursos da rede, evitando propagações desnecessárias de informações de roteamento. No entanto, estes protocolos impõem certo retardo inicial no roteamento de pacotes para um destino. Apesar disso, a mobilidade dos nós acarreta intervalos de perda de conectividade, pois quando uma rota fica inválida, a abordagem sob demanda ativa rapidamente a criação de uma nova rota válida [22]. São exemplos de protocolos de roteamento reativos: AODV [20], DSR [30] e TORA [31].

Híbrido

Os protocolos híbridos combinam as características proativa e sob demanda. Um exemplo de protocolo híbrido é o *Zone Routing Protocol (ZRP)* [32]. Este protocolo foi proposto com o objetivo de reduzir a sobrecarga de pacotes de controle dos protocolos proativos e diminuir a latência causada pela descoberta de rotas dos protocolos reativos [22].

O ZRP limita sua tabela de roteamento utilizando a estratégia proativa para destinos mais próximos, isto é, para uma determinada parte da rede, na zona de roteamento, o que evita o congestionamento de banda. Este protocolo também adota a estratégia sob demanda quando deseja enviar pacotes para os destinos fora da zona de roteamento, o que diminui os atrasos na rede [22].

2.1.2 Roteamento Geográfico

O roteamento geográfico ocorre quando cada nó conhece sua própria posição geográfica e dos demais nós próximos e vizinhos. Esta informação pode ser conhecida por uma localização que determina um serviço, por exemplo um dispositivo do Sistema de Posicionamento Global (GPS) [33].

Este roteamento pode ser categorizado como uma Rede Tolerante a Atrasos e Interrupções (DTN), não DTN ou Híbrido [20]. Uma DTN utiliza uma estratégia de transporte e encaminhamento com desconexões frequentes dos nós na rede. Nas estratégias de transporte e encaminhamento, quando um nó não pode se comunicar com os outros nós, o nó irá ar-

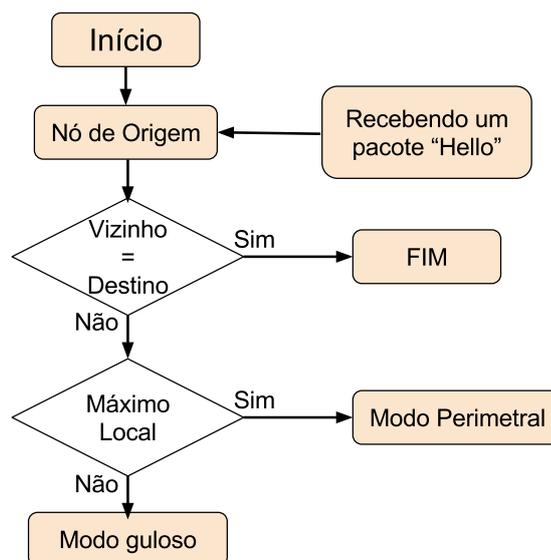
mazenar o pacote e, em seguida, encaminhar o pacote com base nas métricas do nó vizinho [33].

Um protocolo não DTN pode ser posteriormente subcategorizado como *beacon*, *non-beacon* e híbrido. O *Beaconing* ocorre quando um protocolo transmite periodicamente uma mensagem curta e pode retornar a posição de um nó disponível. Um protocolo *non-beacon* não envia um *beacon*. O híbrido envolve cálculos matemáticos para determinar quando enviar uma mensagem e uma estratégia relacionada aos limites de transmissão geográfica [20].

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

O protocolo GPSR utiliza o encaminhamento conhecido como guloso para encaminhar constantemente pacotes aos nós mais próximos do destino. O GPSR assume que os veículos estão equipados com dispositivos de serviço de localização, por exemplo o GPS, para que os nós possam acessar suas próprias informações geográficas. No GPSR, pacotes de “*Hello*” são trocados entre veículos próximos para aprender os locais dos seus vizinhos em uma distância de um salto [20]. O fluxograma representado na Figura 2.4 ilustra como ocorre o encaminhamento das rotas por meio do protocolo GPSR.

Figura 2.4: Fluxograma básico de ilustração do Protocolo GPSR.



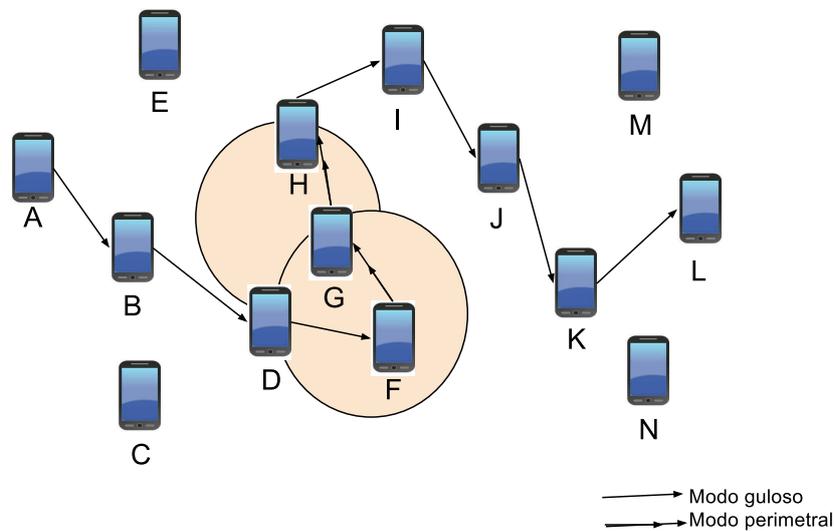
Portanto, esta informação é mantida no cabeçalho do pacote a ser transmitido [34]. O

processo de encaminhamento pode seguir o modo guloso ao selecionar o próximo nó de encaminhamento da mensagem [35].

A Figura 2.5 apresenta o funcionamento do protocolo GPSR. Neste exemplo, o nó **A** deseja enviar dados para o nó **L**. O nó **A** repassa os pacotes para o nó **B**, que é o seu vizinho mais próximo de **L**. O mesmo ocorre com os nós **B**, **D** e **F**. Ao receber o pacote, o nó **F** verifica que nenhum dos seus vizinhos, ou seja os nós dentro do círculo amarelo, está mais próximo de **L** do que ele mesmo. Assim, o nó **F** ativa o modo perimetral (setas com cabeça dupla) e envia os dados para **G**.

Da mesma forma, o nó **G** utiliza o modo perimetral para enviar dados para **H**. O nó **H**, por sua vez, encontra um nó mais próximo de **L** que o nó **F**, e assim o pacote volta a ser repassado pela estratégia gulosa até o nó **L**. O uso de informações geográficas permite ao GPSR a construção de rotas de baixo custo, pois o nó armazena o estado referente somente a localização dos seus vizinhos.

Figura 2.5: Funcionamento do Protocolo GPSR.



Fonte: Adaptado de [36].

2.2 Modelos de Mobilidade

As redes veiculares possuem um padrão de mobilidade único. Nenhuma outra família de redes móveis existente apresenta centenas ou milhares de nós, movendo-se a uma velocidade

acima de 10 quilômetros por hora e alternando alta velocidade com intervalos cujos nós estão completamente parados [15].

Os modelos de mobilidade representam o movimento (localização, velocidade e aceleração) dos nós móveis que varia ao longo do tempo. Para avaliar o desempenho da mobilidade em redes veiculares é preciso utilizar modelos de mobilidade, que pode fazer a análise do impacto causada pela mobilidade sobre o funcionamento dos mesmos. Possuem várias aplicações, por exemplo, gestão de distribuição de chaves criptografadas, avaliação das perdas de pacotes, gestão do tráfego, avaliação do desempenho dos protocolos de roteamento, predição de particionamento, dentre outras [15].

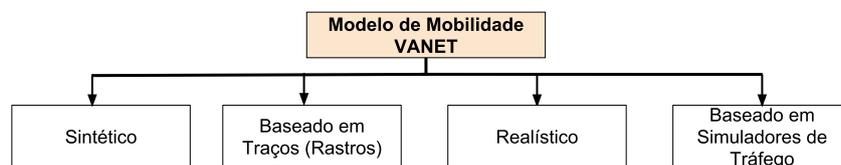
Há várias abordagens adotadas na modelagem da mobilidade dos veículos e, por isso, mais de uma classificação desses modelos pode ser encontrada na literatura [15], [37]. Os modelos são separados nas categorias a seguir.

- **Modelo Microscópico:** A movimentação de cada veículo é representada detalhadamente e sua dinâmica é tratada independentemente dos outros veículos, exceto para aqueles que estão perto o suficiente para ter um impacto direto no comportamento do motorista. Os modelos microscópicos são capazes de reproduzir situações do mundo real, tais como, mudanças de faixa e interação com o veículo da frente. Por essa razão, são modelos de alta complexidade.
- **Modelo Macroscópico:** Não considera a mobilidade de um carro em específico. Nesses modelos de tráfego veicular, é considerado um fluxo contínuo e apenas características relacionadas ao fluxo de veículos, como a densidade e velocidade, são modeladas. Modelos macroscópicos têm a vantagem de serem de baixa complexidade computacional.
- **Modelo Mesoscópico:** O modelo mesoscópico está na fronteira dos modelos macroscópicos e microscópicos. Possui características individuais que podem ser modeladas, mas sempre em relação às métricas macroscópicas, como por exemplo, a densidade veicular. O objetivo é se beneficiar da escalabilidade da abordagem macroscópica sem abrir mão de detalhes até então presentes apenas em modelos microscópicos.

A maioria dos modelos de mobilidade disponíveis hoje em dia inclui um mapa topológico com restrições de movimento. No entanto, eles não incluem restrições de velocidade,

pontos de atração ou repulsão [38]. O desenvolvimento de modelos de mobilidade veicular podem ser classificados em diferentes classes, tais como: Modelos Sintéticos que envolvem todos os modelos matemáticos, Modelos Baseados em Pesquisas que extraem padrões de mobilidade de pesquisas publicadas, Modelos Realísticos que são gerados a partir de padrões de mobilidade reais e Modelos Baseados em Simuladores de Tráfego que são extraídos de um simulador de tráfego de rede veicular. Essa classificação foi adaptada de Harri [38] e ilustrada na Figura 2.6.

Figura 2.6: Classificação de Modelos de Mobilidade Veicular.



Fonte: Adaptado de Harri [38].

2.2.1 Sintético

A primeira e mais conhecida classe inclui modelos sintéticos. Estudos importantes foram realizados para desenvolver modelos matemáticos que reflitam um efeito físico realista. Uma grande limitação da maioria dos modelos sintéticos é a complexidade para modelar comportamentos humanos detalhados.

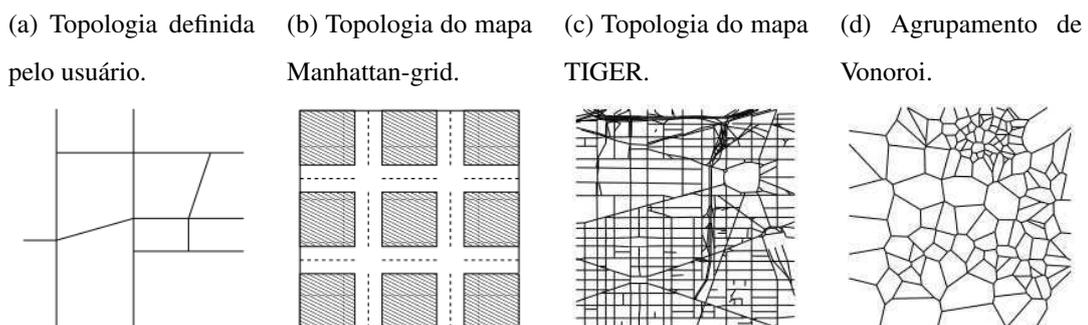
A abordagem geral dos modelos de mobilidade sintética é primeiro tentar entender um movimento particular, depois desenvolver um modelo matemático e tentar reproduzi-lo. No entanto, alguns movimentos, ou mais especificamente suas interações mútuas, muitas vezes fazem um modelo matemático muito complexo ou impossível de estabelecer [38].

Por isso, a topologia rodoviária pode ser um fator importante para obter resultados realistas ao simular movimentos veiculares. O comprimento das ruas, a frequência das interseções ou a densidade dos edifícios podem afetar de forma importante as métricas de mobilidade, por exemplo, a velocidade mínima, máxima e a média dos carros, ou então a densidade veicular a partir do mapa simulado. É possível categorizar os gráficos de topologia pelos seguintes critérios [39]:

- **Definido pelo usuário** - A topologia de rodovia ou urbana é especificada listando os vértices do gráfico e suas bordas de interconexão;
- **Aleatório** - Um gráfico aleatório é gerado, que pode ser: *Manhattan-grid*, *Spider* ou *Voronoi*;
- **Mapas** - A topologia pode ser extraída de mapas reais obtidos de diferentes padrões topológicos, como GDF, TIGER ou Arcview;
- **Multi-pista** - A topologia inclui multi-pistas, potencialmente permitindo mudanças de faixa, ou não.

Os exemplos das possíveis topologias pode ser observado na Figura 2.8. O gerenciamento de interseção agrega capacidades de manuseio ao comportamento de veículos que se aproximam de um cruzamento. Na maioria dos casos, são considerados dois cenários de interseção diferentes: uma encruzilhada regulada por sinais de parada ou uma junção rodoviária de semáforos. No entanto, todas as técnicas de gerenciamento de interseção só atuam no primeiro veículo em cada cenário, já que o modelo do carro segue automaticamente o comportamento dos carros seguindo o líder [39].

Figura 2.7: Exemplos de topologias rodoviárias.

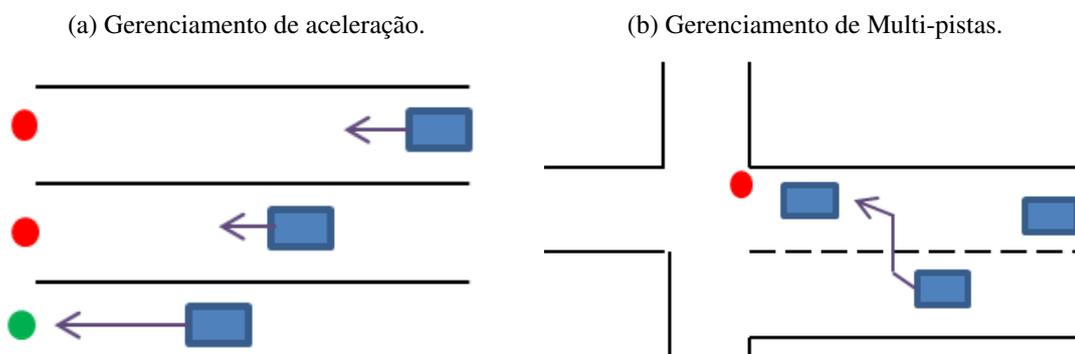


Fonte: Retirado de [39].

Os mais básicos consideram as interseções como obstáculos e paralizam abruptamente, mas as mais complexas, como o Modelo de Motorista Inteligente com Gerenciamento de Interseção, em inglês *Intelligent Driver Model with Intersection Management* (IDM-IM) e Modelo de Motorista Inteligente com Mudanças de Faixa, em inglês *Intelligent Driver Model with Lane Changes* (IDM-LC) [39], param sem problemas no cruzamento baseado

em paradas ou adquirem o estado do semáforo em uma interseção controlada por semáforo. Se a cor é verde, a passagem é concedida e o carro mantém sua velocidade atual através da interseção. Se a cor é vermelha, o cruzamento é negado e o carro é forçado a desacelerar e parar na junção da via. A Figura 2.8 apresenta o comportamento do IDM-IM e IDM-LC quando se aproximam de uma interseção em relação à desaceleração e ao gerenciamento de várias pistas.

Figura 2.8: Gerenciamento de interseção em IDM-IM e IDM-LC.



Fonte: Adaptado de [39].

2.2.2 Realístico

Conforme apresentado na seção anterior, os modelos de mobilidade veicular são geralmente classificados como microscópicos ou macroscópicos. Ao se concentrar em um ponto de vista macroscópico, consideram-se restrições de movimento como estradas, ruas, encruzilhadas e semáforos. Além disso, a geração de tráfego de veículos, como a densidade do tráfego, os fluxos de tráfego e as distribuições iniciais do veículo, podem ser definidas [38]. A abordagem microscópica, em vez disso, se concentra no movimento de cada veículo individual e no comportamento do veículo em relação aos outros.

No entanto, essa abordagem micro-macro é mais uma maneira de analisar um modelo de mobilidade do que uma descrição formal. Outra maneira de analisar os modelos de mobilidade é identificar dois blocos funcionais: Restrições de Movimento e Gerador de Tráfego.

As Restrições de Movimento descrevem como cada veículo se move (seu grau relativo de liberdade) e geralmente é obtido a partir de um mapa topológico [38]. Macroscopicamente,

as restrições de movimento são ruas ou edifícios, mas microscopicamente, as restrições são modeladas por carros, pedestres ou por limitações das estradas.

O Gerador de Tráfego gera diferentes tipos de fluxos de tráfego e lida com suas interações de acordo com o ambiente em estudo. Macroscopicamente, modela densidades de tráfego ou fluxos de tráfego, enquanto microscopicamente, trata de propriedades como distâncias entre carros ou aceleração. Essa abordagem pode ser ilustrada por um mapa conceitual para modelos de mobilidade realísticos [38].

2.3 Ambientes

Uma característica peculiar das redes veiculares é a diversidade de mapas. Porém, para os nós sensores não há permissão de movimentos livres em torno da área, pois os veículos devem limitar-se ao *layout* do mapa [40], [15]. Os ambientes podem ser categorizadas em três grupos: rurais, urbanos e rodoviário.

Rural: Em um ambiente rural, a densidade do tráfego deverá ser baixa e, portanto, a rede resultante seria altamente desconectada, conforme a Figura 2.9. Isso significa que a rede é dividida em pequenos *clusters* (ou grupos de veículos), o qual não estão suficientemente próximos para se comunicar diretamente. Nesse ambiente espera-se que a velocidade média dos veículos seja moderadamente baixa.

Figura 2.9: Exemplos de ambientes rurais.

(a) Zona rural de Paratinga - BA.



Fonte: [41].

(b) Avenida Aliomar Baleeiro - BA.



Fonte: [42].

Urbano: Em ambientes urbanos, a densidade de veículos pode favorecer a comunicação de múltiplos saltos, devido sua menor mobilidade. Entretanto, pode variar de acordo com o

horário, conforme apresenta a Figura 2.10. Em algumas horas do dia, o tráfego de veículos pode ser baixo, com poucos carros, porém, nos horários de pico, o número de carros nas vias pode aumentar. A presença de obstáculos para os sinais sem fio é mais frequente, por exemplo, árvores e prédios. Acidentes e obras na pista também podem influenciar o comportamento do trânsito de maneira considerável, desfavorecendo a comunicação.

Figura 2.10: Exemplos de ambientes urbanos.

(a) Avenida Paulista - SP às 15 horas.



Fonte: [43].

(b) Avenida Paulista - SP às 20 horas .



Fonte: [44].

Rodoviário: Em uma rodovia, o padrão de mobilidade é claramente diferente dos outros ambientes. Os veículos podem em geral trafegar em alta velocidade sem cruzamentos e sinais de trânsito. Aparentemente mais simples que os demais, conforme a Figura 2.11, porém, o fato de normalmente dois veículos só se cruzarem torna a comunicação desafiadora.

Figura 2.11: Exemplos de ambientes rodoviários.

(a) Rodovia BR-101 entre PB e RN.



Fonte: [45].

(b) Rodovia BR-230 trecho da PB.



Fonte: [46].

2.4 Modelos de Propagação

Quando o nível de um sinal não pode ser medido com equipamentos próprios em um receptor, ele pode ser calculado por meio de modelos matemáticos determinísticos e/ou empíricos que tentam, por aproximação, simular o comportamento das ondas eletromagnéticas durante a propagação em um determinado meio. Os mecanismos de propagação determinam a atenuação de propagação no enlace o valor médio do sinal no receptor [47].

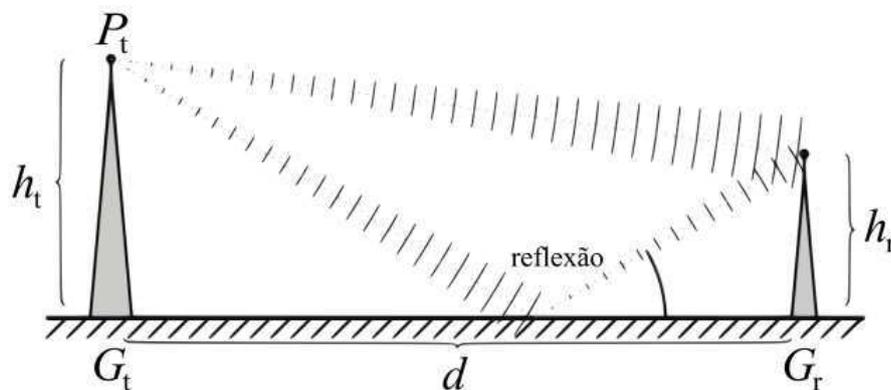
No efeito de propagação denominado *multipercurso*, o sinal resultante é devido à composição de inúmeras versões do sinal original transmitido, que percorrem diferentes percursos determinado, em grande parte pelas reflexões e difrações [47]. Além disso, pode ocorrer o efeito de sombreamento que é a flutuação do nível de sinal devido a obstruções do meio.

Há vários modelos de propagação definidos pela literatura para determinados ambientes, tais como: *Rayleigh*, *Two Ray Ground*, *LogNormal*, *Free Space*, dentre outros. Nesta pesquisa iremos utilizar o modelo de propagação *Two-Ray Ground*.

2.4.1 Two Ray Ground

O modelo de propagação de dois raios ou reflexão no solo (TRG, do inglês *Two Ray Ground*), considera o efeito de multipercurso, em que a potência do sinal recebida inclui não apenas o caminho, mas o reflexo causado pela onda eletromagnética que incide no solo [48]. Desse forma causa uma perda do sinal recebido, conforme apresenta a Figura 2.12.

Figura 2.12: Modelo de propagação *Two Ray Ground*.



Fonte: [48].

Para estimar a força do sinal do receptor pode ser feito quando $d \gg h_t, h_r$, como pode ser descrito a seguir [49]:

$$P_{rTRG}(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (2.1)$$

Em que, a altura do transmissor e receptor são h_t e h_r , e os ganhos G_t e G_r , respectivamente. Contudo, a perda de percurso em relação a distância é maior do que outros modelos de propagação, por exemplo *Free Space*, com isso o modelo TRG apresenta uma previsão mais adequada para longas distâncias, se comparado ao *Free Space*.

Nesse caso, se faz necessário definir o conceito de distância curta. Quando a distância for menor do que d_c ($d < d_c$) a equação 2.1 será utilizada e quando a distância for maior do que d_c ($d > d_c$) a equação 2.2 será utilizada, conforme apresenta a seguir [49]:

$$d_c = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \quad (2.2)$$

2.5 Pesquisas Relacionadas

A Tabela 2.1 apresenta as pesquisas relacionadas com o trabalho, em que é separado por autores, *software*, ambientes de simulação, protocolos de roteamento e resultado. É possível observar que os autores Xi Yu et al. [50] utilizaram alguns *softwares* diferentes dos demais autores e foco principal da pesquisa não assemelha-se a esta pesquisa. Em Cavalcanti [28] o intuito da pesquisa foi propor um novo protocolo de roteamento.

Os autores Turcanu et al. [51] e Rashdan et al. [52] não realizaram mudanças de ambientes para validar a pesquisa. Skiles e Mahgoub [53] utilizaram boa parte dos parâmetros desta pesquisa, porém o objetivo da pesquisa foi propor um novo protocolo híbrido, além disso não foi mencionado o protocolo OLSR.

Este trabalho irá destacar a influência da escolha dos parâmetros de simulação nas redes veiculares. O ponto diferencial para os demais trabalhos será avaliar a aplicabilidade de diferentes parâmetros na simulação.

Tabela 2.1: Resumo das Pesquisas Relacionadas

Autor	Software	Ambiente	Protocolos	Resultados Obtidos
Cavalcanti [54]	OMNeT++, VanetMobiSim	Urbano	OLSR	Foi proposto um algoritmo de seleção de MPR, que foi integrado a um novo protocolo OLSR de mobilidade. A nova técnica proporcionou um ganho de desempenho em termos de taxa de entrega de pacotes e atraso.
Turcanu et al. [51]	OMNeT++, SUMO, Veins	Urbanos	DISCOVER	Os resultados mostram que o protocolo atinge um desempenho muito bom em diferentes tipos de mapas da cidade (Nova York, Paris, Madri e Roma)
Rashdan et al. [52]	OMNeT++, SUMO, Veins	Urbano	Protocolos Geocast	Os protocolos atingiram os requisitos de planejamento dinâmico de rotas em relação ao atraso de ponta a ponta e taxa de entrega de pacotes.
Skiles e Mahgoub [53]	OMNeT++, SUMO, Veins	Urbano e Rodoviário	GEAODV	Menor atraso médio consistente e supera todos os outros protocolos na proporção média de entrega.

2.6 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os conceitos fundamentais sobre VANET. Os protocolos de roteamento que podem ser classificados em roteamento baseado em topologia e roteamento geográfico e seus respectivos protocolos de roteamento em cada classe. Os modelos de mobilidade podem ser sintéticos ou realísticos e os principais ambientes de redes veiculares, entre os quais: rural, urbano e rodoviário. Ao final foi feita uma explanação geral das pesquisas relacionadas ao tema. No próximo capítulo será abordada uma revisão sistemática de artigos publicados relacionado a redes veiculares.

Capítulo 3

Levantamento Sistemático sobre Redes Veiculares

Desde a sua criação, as Redes *Ad hoc* Veiculares (VANETs) têm atraído muita atenção da academia e da indústria. Em comparação com outras áreas de redes sem fio, os avanços científicos são principalmente decorrentes do emprego de ferramentas de simulação e modelos matemáticos. Depois de serem pesquisados 283 artigos publicados na última década sobre pesquisas em redes de veículos, foram identificados os principais tópicos estudados, bem como as ferramentas mais empregadas, apontando as mudanças na preferência de assuntos ao longo dos anos. Como contribuição fundamental, também foi possível avaliar qual o nível que a comunidade de pesquisa evoluiu quanto aos princípios de credibilidade em estudos baseados em simulação, como repetibilidade e replicabilidade, comparando os resultados aqui apresentados com estudos prévios.

3.1 Introdução

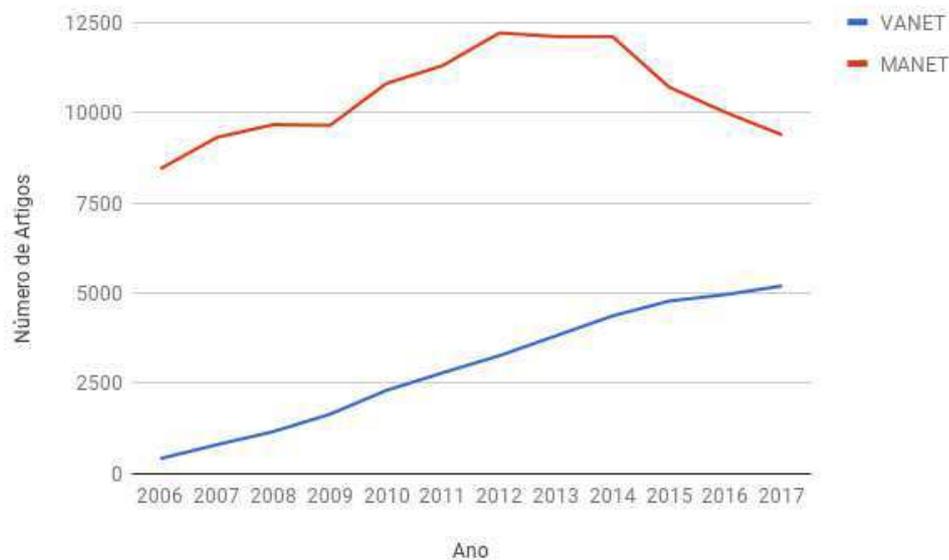
As VANET são uma das especialidades mais destacadas das Redes *Ad hoc* Móveis (MANETs). Em VANET, os veículos se comunicam entre si (V2V, em inglês, *Vehicle-to-Vehicle*) ou veículo para infraestrutura (V2I, em inglês, *Vehicle-to-Infrastructure*). Atualmente, o termo veículo para tudo (V2X, em inglês, *Vehicle-to-Everything*) também foi amplamente adotado.

Desde a sua criação, a rede de veículos tem atraído muita atenção da academia e da

indústria. Vários consórcios industriais e governamentais internacionais, como a *European C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium)* e a *American VII (Vehicle Infrastructure Integration)* mostraram a grande relevância e viabilidade das comunicações V2V e V2I para a nossa sociedade.

A Figura 3.1 descreve o número total de publicações relacionadas à VANET e MANET nos últimos anos. Para as VANET, há um aumento notável na quantidade de artigos publicados, enquanto uma redução é observada para as publicações das MANET. Particularmente, de 2012 a 2017, o primeiro aumentou 59 %, enquanto o último diminuiu 23 %.

Figura 3.1: Número de artigos indexados sobre MANET e VANET no *Google Scholar* entre 2006 e 2017.



Para suportar o crescimento de redes *ad hoc* sem fio, os pesquisadores criaram uma variedade de protocolos, a partir das camadas da pilha de protocolos *Open Systems Interconnection (OSI)*. Quando se trata de avaliar tais protocolos, modelagem analítica, experimentação e simulação são as três principais abordagens disponíveis para os pesquisadores. A primeira abordagem geralmente carece de generalização, ao não levar em consideração o nível intrínseco de alta complexidade. O segundo fornece realizações realistas, como prova de conceito, mas para cenários em larga escala é financeiramente inviável. Portanto, devido ao melhor custo benefício, a simulação é, de longe, a abordagem líder empregada pelos pesquisadores [55].

No entanto, uma das principais questões relativas à prática de simulação resulta do seu baixo nível de credibilidade. É provável que haja erros devido ao modelo de simulação ou a partir de análises impróprias dos dados [56]. Infelizmente, há uma má prática generalizada ao não descrever ou omitir informações, código fonte e o conjunto dos dados, que são cruciais para garantir a replicabilidade e a reprodutibilidade de qualquer pesquisa publicada. Além disso, é bastante comum apresentar resultados estatísticos sem informações sobre a sua precisão em termos de intervalo de confiança, em qualquer nível de confiança, incluindo erros estatísticos relativos [57].

Neste capítulo foi analisado o estado atual da pesquisa sobre VANET, levando em consideração 283 trabalhos publicados de 2007 até 2017. Os objetivos desta pesquisa são duplos: (1) verificar em que medida a comunidade de pesquisa evoluiu sobre os princípios de credibilidade em estudos baseados em simulação [58]; (2) descobrir os principais tópicos de pesquisa investigados, bem como as ferramentas mais empregadas (por exemplo, simuladores), modelos (por exemplo, mobilidade, tráfego, propagação) e protocolos, apontando várias tendências de pesquisa.

3.2 Pesquisas Relacionadas

O primeiro esforço na avaliação da pesquisa baseada em simulação em redes de computadores foi realizado por Pawlikowski et al. [59]. Os autores realizaram uma pesquisa de mais de 2.200 publicações relacionadas as telecomunicações no evento do IEEE INFOCOM, publicações de 1992 a 1998, e outras três revistas de redes de computadores, de 1996 a 1998. A pesquisa levou em consideração apenas dois aspectos da credibilidade da simulação: o uso de geradores de números pseudo-aleatórios apropriados (PRNGs) e a análise adequada dos dados de saída da simulação. Os resultados revelaram que quase 50 % de todos os documentos não indicam o tipo de simulação empregada (ou seja, encerramento ou estado estacionário), enquanto que mais de 70 % não mencionaram qual PRNG foi usado.

Kotz et al. [60] compararam experimental *versus* simulação de uma rede MANET e as medições dos modelos de propagação de rádio disponíveis diferem das medições reais. Os resultados mostraram que os pressupostos usuais considerados pela comunidade de pesquisa (por exemplo, a área de transmissão de um rádio é circular) e adotados por modelos mais

simples (por exemplo, espaço livre e solo de dois raios) não são realistas.

No que diz respeito à credibilidade em estudos baseados em simulação MANET, Kurkowski et al. [58] pesquisou 151 trabalhos apresentados no Simpósio Internacional sobre Redes e Computação *Ad Hoc* Móvel (MobiHoc) de 2000 a 2005. Eles se concentraram em medir a credibilidade dos trabalhos baseados em simulação, considerando quatro áreas de credibilidade na pesquisa: repetibilidade, modelagem de cenários rigorosos, resultados imparciais e análise estatística adequada. Os resultados gerais apontaram que menos de 15 % dos artigos publicados foram encontrados repetitivos, apenas 7,0 % abordaram o viés de inicialização e 87,5 % não incluíram intervalos de confiança nas parcelas. Mais tarde, iremos comparar seus resultados com os resultados desta pesquisa.

Andel e Yasinsac [56] também discutem a questão da credibilidade na simulação da MANET, listando as práticas de simulação impróprias mais comuns, como a ausência de requisitos de simulação repetitivos e a validade estatística questionável. O primeiro é principalmente devido à falta de documentação, enquanto que o último está relacionado principalmente a técnicas de coleta de dados imprecisas ou a análise estatística insuficiente. Além disso, outro aspecto crucial é o nível de detalhes e a validação do modelo empregada. Como afirmam os autores, "Omitir detalhes ou simplificar demais o modelo pode levar a resultados ambíguos ou errôneos".

Um estudo mais recente [57] apresenta uma pesquisa abrangente de mais de 8.300 publicações IEEE em redes e telecomunicações. Os autores concluíram que, mesmo após dez anos do trabalho de Pawlikowski et al. [59], não há mudanças significativas em relação a qualidade e credibilidade dos estudos de simulação revisados e a profunda crise de credibilidade ainda permanece. Mesmo que um grande número de artigos tenham sido pesquisados, apenas os artigos publicados entre 2007 e 2009 foram levados em consideração.

Por outro lado, neste capítulo, foi considerado um período mais longo, de 2007 a 2017, reforçando não só a credibilidade de estudos baseados em simulação, mas também no campo de pesquisa geral de VANETs. Até o conhecimento obtido por meio de pesquisas proporcionou, este é o primeiro trabalho a apresentar esse tipo de revisão e contribuição.

3.3 Resultados da Pesquisa

Foram realizadas pesquisas nos artigos por meio das palavras “VANET” ou “rede *ad hoc* veicular” no título, resumo ou termos de índice (por exemplo, palavras-chave) em publicações das seguintes conferências e periódicos para o período de 2007 até 2017:

- O Simpósio Internacional da ACM sobre Redes e Computação *Ad Hoc* Móvel (*International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing* - MobiHoc);
- O principal evento e workshops da Conferência Internacional Anual sobre Computação Móvel e Redes (*International Conference on Mobile Computing and Networking* - Mobicom);
- Conferência de Tecnologia Veicular (*Vehicular Technology Conference* - VTC);
- Periódico do IEEE *Transactions on Mobile Computing* (TMC).

Mobihoc e Mobicom são conferências reconhecidas na área e altamente seletivas em redes de computadores, enquanto o TMC é um dos principais periódicos em computação móvel. Além disso, a VTC também foi escolhida devido à sua relevância e ao grande número de artigos disponíveis cobrindo os tópicos gerais da VANET (de fato, a conferência acontece duas vezes ao ano).

Um total de 283 artigos correspondeu a essa seleção em particular, dos quais 147 foram publicados durante os primeiros cinco anos (2007-2011), e os outros 136 foram publicados durante o segundo período (2012-2017).

Foram examinados manualmente os 283 trabalhos, extraímos todas as informações valiosas necessárias para caracterizar a pesquisa e para destacar como os autores realizaram suas pesquisas. O questionário empregado para reunir todas as informações necessárias, bem como os dados coletados, está disponível na plataforma de repositório de dados de pesquisas *Figshare* [61].

3.3.1 Visão geral da pesquisa VANET na última década

A partir da lista dos tópicos de pesquisa mais comuns em VANETs (extraídos e fundidos de vários “*call for papers*” de conferências e periódicos de redes de computadores), foram

definidos um grupo de oito áreas de pesquisa (categorias de nível superior), abrangendo uma ampla gama de tópicos relacionados a comunicação veicular (Tabela 3.1). Por exemplo, se um documento enfoca qualquer aspecto relacionado ao link ou camadas físicas, como um algoritmo MAC, modelagem de canal, codificação de rede ou controle de potência de transmissão adaptativa, o artigo é rotulado como MAC-PHY. Na outra extremidade, há a classe APP, contendo todos os documentos que abordam aplicativos de usuários (por exemplo, prevenção de colisão de interseção, notificação de congestionamento rodoviário e transmissão multimídia).

Como em outras áreas de rede de computadores, existem muitos artigos sobre avaliação de desempenho de protocolos. Um documento é considerado como pertencente à classe PERF se e somente se a contribuição principal for na própria avaliação de desempenho. Portanto, se um novo MAC ou protocolo de roteamento foi proposto, seguido de sua avaliação de desempenho, o artigo foi rotulado como MAC-PHY ou ROUT, em vez de PERF.

Os trabalhos que descrevem uma nova ferramenta, plataforma, estrutura ou arquitetura foram rotulados como TOOL. Por uma questão de simplicidade, todos os estudos experimentais, geralmente relacionados à implantação e ao teste de campo, também foram incluídos nessa classe.

A classe ROUT representa artigos que propõem um novo protocolo de roteamento, enquanto que a classe MOB relaciona questões de mobilidade, como a modelagem de mobilidade e os algoritmos de agrupamento.

Terminamos a classificação com os rótulos DATA e SERV. O primeiro foi usado para trabalhos que se concentram em esquemas de coleta/disseminação de dados, enquanto o último é para o que foram chamados de “serviços complementares”, como Qualidade de Serviço (QoS), segurança e localização.

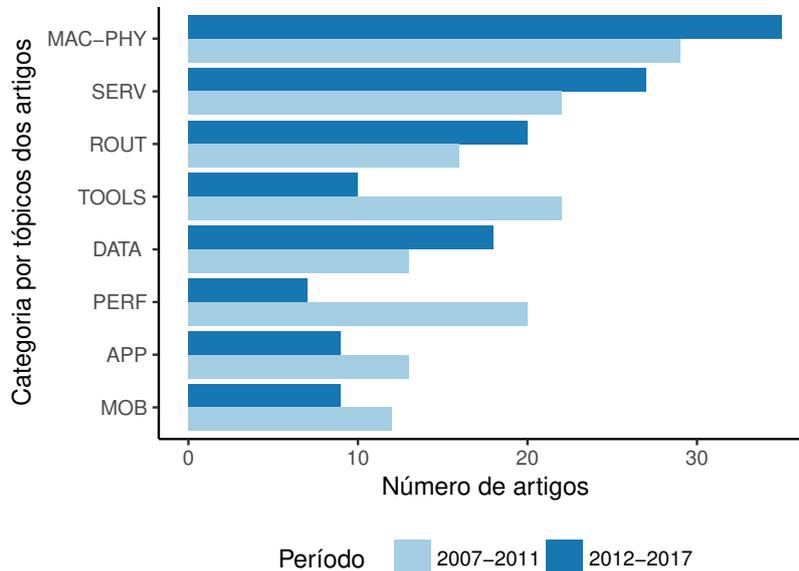
A Figura 3.2 retrata o conteúdo e a distribuição temporal dos trabalhos publicados. Quase um quarto deles estava em questões de MAC-PHY (23%). Durante a última década, tanto a academia como a indústria trabalharam para permitir uma comunicação sem fio efetiva e eficiente em ambientes de veículos. A alteração IEEE 802.11p, bem como os padrões IEEE 1609 Acesso sem fio em Ambientes Veiculares (WAVE) resultam desse esforço. Além disso, os resultados sugerem um ligeiro aumento em tais problemas. A aplicabilidade de esquemas de codificação de rede em VANETs pode ser considerada como um dos principais motivos

Tabela 3.1: Categorias de pesquisa de nível superior em VANETs.

CATEGORIAS		
Título	Descrição	Exemplos de tópicos
MAC-PHY	MAC e Questões da Camadas física	Técnicas de controle de acesso de mídia, Protocolos de esquemas, ou Algoritmos; Modelagem, Modulação e codificação de canais; Controle adaptativo de potência de transmissão.
PERF	Análise e comparação de performance	Análise e simulação de desempenho/ comparação de protocolo; Análise de projeto, teste e análise de protocolo.
APP	Protocolos e serviços da camada de aplicação	Segurança (por exemplo, prevenção de colisão); Eficiência (por exemplo, congestionamento de estrada evasão); Entretenimento (por exemplo, transmissão multimídia); Ambiental (por exemplo, detecção de poluição).
DATA	Gerenciamento de Dados	Métodos de coleta de dados e disseminação de mensagens (por exemplo, transmissão).
SERV	QoS, segurança e técnicas de localização	Rastreamento de localização, correção de estimativa de localização, integração com redes de infraestrutura, problemas de qualidade de serviço, Problemas de segurança.
ROUT	Protocolo de roteamento	Proposta de um novo protocolo de roteamento.
MOB	Questões de mobilidade	Análise de mobilidade / conectividade, modelagem, gerenciamento, Algoritmo de agrupamento.
TOOL	Ferramentas, <i>testbeds</i>	Ferramentas/Plataforma/Arquitetura/ Proposta de <i>Framework</i> , Implementação e testes de campo, Experimental e Protótipo de Resultados.

dessa tendência.¹

Figura 3.2: Os principais tópicos de pesquisa em VANETs.



Em segundo lugar, foram obtidos a classe SERV, que inclui documentos sobre serviços complementares, seja QoS, abordagens de segurança ou serviços baseados em localização. No segundo momento, verificou-se que mais estudos foram associados à integração entre redes de veículos e redes de infraestrutura tradicionais (por exemplo, celular). Há uma expectativa de que VANETs sejam integradas à tecnologia móvel 5G até 2020 [62].

O roteamento (rótulo ROUT) ainda é um tópico importante da pesquisa. Em primeiro lugar, os protocolos de roteamento MANET tradicionais foram encontrados não adequados aos vastos requisitos e características únicas dos cenários e aplicativos de VANETs. Dezenas de protocolos de roteamento foram propostos durante a última década, incluindo várias taxonomias de classificação [63]. Ao invés dos protocolos de roteamento tradicionais de MANET, que são baseados em topologia (proativo, reativo ou híbrido), as alternativas de VANET mais promissoras são as abordagens geográficas e tolerantes ao atraso. O primeiro é mais adequado para a comunicação veicular, enquanto o último envolve a estratégia de transporte e encaminhamento que é empregada para superar a conectividade intermitente, uma situação típica em cenários de veículos.

¹Uma busca pela expressão (VANET “ NETWORK CODING ”) no google scholar resulta em 469 trabalhos em 2007-2011 e 1570 em 2012-2016.

Foi observado um aumento significativo no número de trabalhos relacionados a estratégias de disseminação e algoritmos de transmissão (rótulo DATA). Na verdade, foi o único assunto com maior crescimento entre todos (38%). Conforme observado por Lee et al. [64], a maioria dos protocolos de aplicativos dependem de variantes da abordagem de disseminação de dados epidêmicos para que a informação apropriada se propague para nós em uma área onde a informação é originada. O principal desafio nesta área é abordar a redundância e a eficiência em conjunto.

Enquanto isso, as publicações na classe PERF passaram de 20 para apenas 8 artigos entre os dois períodos. Este resultado sugere que menos esforço foi colocado apenas na comparação e análise do desempenho do protocolo. À medida que a pesquisa em VANETs evolui, mais atenção é dada a novos protocolos, serviços e aplicativos. Assim, pode-se observar esse resultado de alguma forma previsível.

Tabela 3.2: VANET simulação *freeware/software* de código aberto.

Categoria	Ferramenta	Lançamento ¹
<i>Framework</i> integrado	TraNS [65]	2007
	MobiREAL [66]	2006
	Veins [67]	2006
Simulador de rede	NCTUns [68]	2007
	ns-3 [69]	2008
	OMNET++ [70]	2006
	GrooveNet [71]	2006
	SUMO [72]	2006
Gerador de Mobilidade	VanetMobiSim [73]	2006
	MOVE [74]	2007
	CityMob [75]	2008
Gerador de Cenário [76]	VERGILIUS	2010

¹ Ou quando optou primeiro pelo suporte da simulação em redes veiculares.

A classe TOOLS também foi menos abordada, com as publicações passando de 22 no primeiro período para apenas dois trabalhos em 2012-2017. Isso pode muito bem ser de-

vido ao fato de que, durante os primeiros anos de pesquisa, há uma grande necessidade de ferramentas e estruturas para a implantação das obras para pesquisa efetiva. Por exemplo, a Tabela 3.2 mostra uma lista de ferramentas de simulação bem conhecidas para VANETs, e é notável que todas elas foram desenvolvidas durante o primeiro período ou até mais cedo. No entanto, com a adoção da tecnologia de comunicação de veículos por fabricantes de automóveis nos anos seguintes, é possível que novas ferramentas e *frameworks* sejam introduzidos.

Por fim, duas categorias de pesquisa mostraram uma pequena redução na última década: modelagem e análise de mobilidade e protocolos e serviços da camada de aplicação. Com relação ao primeiro, como já existem modelos de mobilidade veicular baseados em tráfego bidimensionais realistas [72], [77], prevemos que pesquisas futuras sejam mais específicas, abordando tópicos como modelagem de mobilidade geo-social, e tridimensionais. análise de conectividade. Por outro lado, em relação ao último tópico (isto é, classe APP), ficamos surpresos com a diminuição de estudos sobre a camada de aplicação, no entanto, é compreensível que, após um período inicial modelando o comportamento de aplicações existentes nas novas VANETs cenários, a comunidade mudou para tópicos de pesquisa mais impactantes.

3.3.2 A comunidade de pesquisa MANET/VANET evoluiu na realização de estudos baseados em simulação?

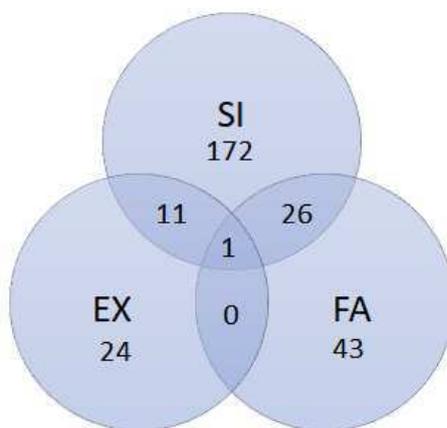
Em primeiro lugar, os resultados corroboram o fato de que a simulação ainda é a principal abordagem para validar e avaliar soluções em MANETs. Mais notável é que a porcentagem de artigos que empregaram simulação permanece basicamente a mesma que no intervalo de 2000-2005: três dos quatro artigos incluem a simulação como ferramenta principal (veja Tabela 3.4).

Outros métodos de pesquisa, nomeadamente experimentação (ou seja, medições do mundo real) e análises matemáticas formais atingiram 12,7% e 24,7%, respectivamente. A soma dos percentuais é maior que 100%, pois 38 trabalhos utilizaram mais de uma técnica de avaliação, conforme apresentado na Figura 3.3 a. Apenas uma publicação não empregava nenhum método, enquanto 277 documentos empregavam pelo menos uma das três abordagens.

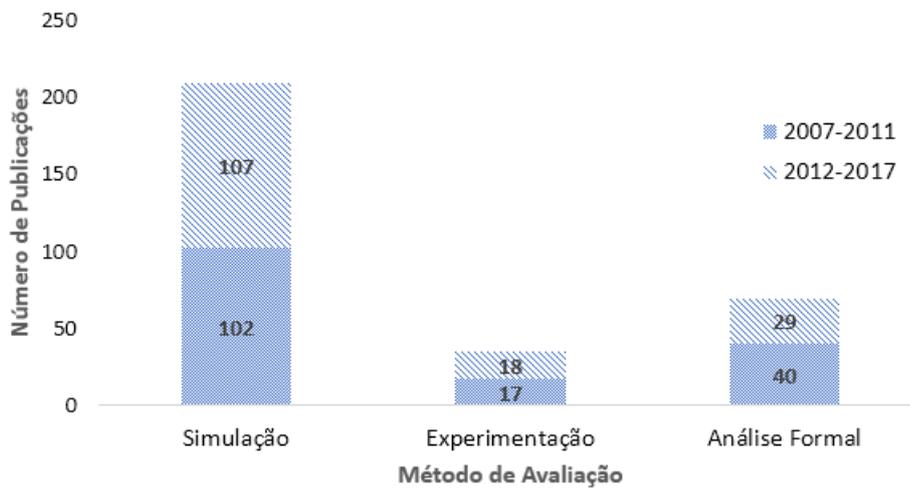
A Figura 3.3 b mostra a variação do número de publicações por método de pesquisa

Figura 3.3: Método de avaliação empregado.

(a) Número de publicações de acordo com o método de avaliação empregado: Simulação (SI), Experimentação (EX), e Análise Formal (FA).



(b) Variação ao longo dos anos.



nos últimos dois períodos de cinco anos. Uma possível razão para o aumento em trabalhos baseados em simulação e a redução de estudos de análise formal é o desenvolvimento/disponibilidade de simuladores mais específicos e destacados para redes de veículos.

Uma visão geral resumida das ferramentas gratuitas e de código aberto que surgiram ou adicionaram suporte para as VANETs na última década é fornecida na Tabela 3.2. Esse aumento no número de ferramentas de simulação, disponível abertamente para a comunidade [78], provavelmente contribuiu para a redução de publicações (27,3 % para 7,62 %, Tabela 3.4) com base em desenvolvimento próprio ou simuladores personalizados.

Um resultado surpreendente é que apenas uma única publicação deixou claro se o código ou o conjunto de dados está disponível publicamente. Como código, entendemos qualquer software, incluindo scripts, necessário para repetir as simulações/experimentos. Sem esse recurso, nenhum pesquisador pode reproduzir e, eventualmente, validar a pesquisa de outro. De fato, a reprodutibilidade ainda não é uma abordagem comum nem da pesquisa da VANET nem de nenhuma outra área de redes de computadores [79]. De fato, a falta de replicabilidade e reprodutibilidade pode ser uma questão importante em todas as sub-áreas da ciência da computação [80].

Embora uma minoria de artigos inclua referências (isto é, links) às páginas da Web do autor para alguns dos artefatos (por exemplo, código, conjunto de dados), os links raramente são permanentes e muitas vezes ficam indisponíveis depois de alguns meses ou anos. Para apoiar a ciência aberta, bem como a necessidade dos 3Rs (repetibilidade, replicabilidade e reprodutibilidade), plataformas baseadas em nuvem surgiram recentemente com o objetivo de fornecer uma maneira para os pesquisadores compartilharem todos os tipos de dados subjacentes às suas publicações. Uma lista abrangente de centenas de repositórios está acessível em [81]. Descrevemos brevemente nove repositórios de dados de pesquisa abertos em Tabela 3.3, destacando o número de conjuntos de dados e repositórios de código que são considerados como um artefato de pelo menos uma publicação relacionada a VANET.

É notável que apenas uma pequena parte dos projetos de pesquisa realmente publica seus artefatos. As plataformas com mais registros VANET são Github e CRAWDAD. O foco do primeiro está no código, enquanto o segundo está no arquivamento de conjuntos de dados a partir de experimentos de rede reais. Na maioria dos casos, há suporte ao DOI, possibilitando citar o recurso, também com o recurso de versionamento.

Tabela 3.3: Repositórios de dados de pesquisa.

Plataforma	Lançamento	Tamanho ¹	Dados ²	Códigos ³
codeocean.com	2017	~ 100	0	0
data.mendeley.com	2015	>200	0	0
figshare.com	2011	>10K	5	0
github.com	2008	>10M	0	22
zenodo.org	2013	>8K	1	0
dataverse.harvard.edu	2007	>70K	0	0
Wolfram Repository	2017	~ 600	0	0
crawdad.org	2005	121	14	0
datadryad.org	2008	18K	0	0

¹ Número de registros de dados de pesquisa.

² Número de registros de dados sobre VANET.

³ Número de registros de códigos sobre VANET.

Também é possível notar que nenhum artigo incluiu informações sobre o gerador de números pseudo-aleatórios (PRNG) empregados ao longo das simulações. Os resultados restantes em relação a questões de simulação e ambiente são um pouco semelhantes à pesquisa do MobiHoc [58].

Com relação aos parâmetros de entrada básicos (Tabela 3.4), nossos resultados endossam a alegação de que há baixa credibilidade em estudos baseados em simulação. Mais de um terço dos artigos não fizeram nenhuma declaração a respeito da faixa de transmissão do nó ou do tamanho da área de simulação, enquanto apenas 15,71 % citaram o padrão de tráfego (por exemplo, CBR). Além disso, quase um terço das publicações não mencionou o número de execuções de simulação (ou seja, ensaios).

Como resultado direto, apenas 34,76 % de todas as publicações apresentaram os intervalos de confiança ao longo das parcelas. No entanto, essa taxa é quase três vezes maior do que a relatada em [58] (12,5 %), o que sugere alguma melhoria na credibilidade dos estudos baseados em simulação da VANETs.

Tabela 3.4: Comparação de resultados de pesquisas para artigos publicados na conferência MobiHoc da ACM (2000-2005) e nas conferências VTC do IEEE, MobiCom da ACM e MobiHoc da ACM, e a revista TMC do IEEE (2007-2017).

Simulador e Ambiente de Simulação				
Nossos Resultados¹			Resultados MobiHoc [58]²	
Total	Percentual	Descrição	Total	Percentual
210 de 283	74,20%	Utilizou simulação na pesquisa.	114 de 151	75,5%
180 de 210	85,71%	Informou qual simulador foi usado.	80 de 114	70,2%
16 de 210	7,62%	Usou simuladores autodesenvolvidos ou customizados.	22 de 80	27,3%
43 de 210	20,48%	Indicou a versão do simulador.	7 of 58	12,1%
17 de 210	8,09%	Indicou qual o sistema operacional foi utilizado.	3 de 114	2,6%
52 de 210	24,76%	Considerou/mencionou do tipo de simulação.	48 de 114	42,1%
Parâmetros de Entrada da Simulação				
Nossos Resultados¹			Resultados MobiHoc [58]²	
Total	Percentual	Descrição	Total	Percentual
122 de 210	58,10%	Indicou o tamanho da área de simulação.	62 de 109	56,9%
137 de 210	65,23%	Indiciou o alcance de transmissão.	62 de 109	56,9%
88 de 210	41,90%	Indicou a duração da simulação.	49 de 109	45%
83 de 210	39,52%	Indicou a taxa de envio de tráfego.	41 de 109	37,5%
33 de 210	15,71%	Indicou o tipo de tráfego (i.e., CBR, VBR, etc.)	31 de 109	28,4%
73 de 210	34,76%	Indicou o número de iterações.	39 de 109	35,8%
Gráficos				
Nossos Resultados¹			Resultados MobiHoc [58]²	
Total	Percentual	Descrição	Total	Percentual
206 de 210	98,09%	Utilizou gráficos para representar os resultados.	112 de 114	98,2%
73 de 210	34,76%	Utilizou intervalo de confiança nos gráficos.	14 de 112	12,5%
88 de 210	41,90%	Não indicou os rótulos ou unidades dos gráficos.	28 de 112	25%

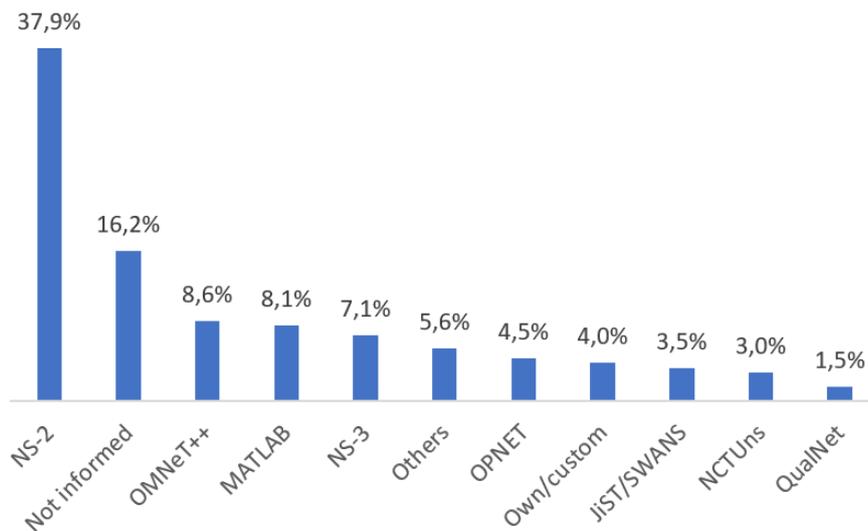
¹Um total de 283 artigos publicados na Conferência VTC do IEEE, no TMC do IEEE, no MobiCom da ACM e no MobiHoc da ACM, de 2007 a 2017.

²Um total de 151 artigos publicados na conferência MobiHoc da ACM de 2000 a 2005 [58].

3.3.3 Ferramentas, modelos e preferências de protocolos na pesquisa de VANET

Embora existam vários simuladores de rede para uma grande variedade de redes, nosso foco é em simuladores adequados para redes veiculares. Nos últimos anos, houve mudanças nas preferências das ferramentas. O simulador de rede (NS-2) foi o mais adotado, alcançando 37,9 % dos 198 artigos citando a aplicação de algum tipo de simulador de rede. O NS-2 foi seguido por OMNET ++ com 8,6 %, MATLAB com 8,1 % e 7,1 % por NS-3. Estruturas de software livre flexíveis, bem documentadas e populares, como Veins [82], aumentaram a adoção do OMNET ++, principalmente para a simulação de redes V2X. É perceptível que enquanto o uso do NS-2 caiu 19,5 % (41 para 33) desde os primeiros cinco anos, a adoção do OMNET ++ aumentou mais que o dobro (5 para 12).

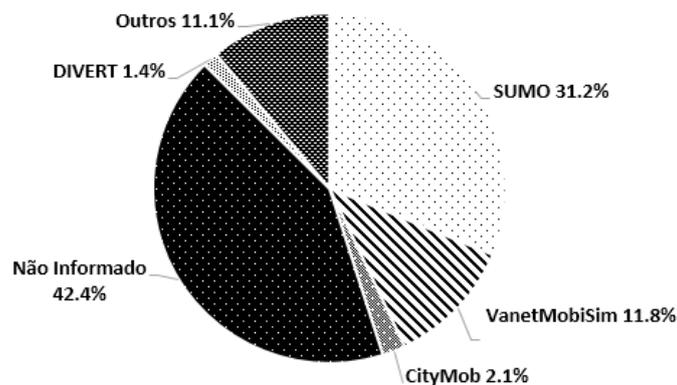
Figura 3.4: Preferência do simulador de rede.



A Figura 3.5 apresenta os principais geradores de padrão de movimento do veículo empregados em 134 artigos. Os simuladores de mobilidade mais utilizados são SUMO (31,2 %) e VanetMobiSim (11,2 %). Os simuladores de mobilidade remanescentes ocorrem com pouca frequência, enquanto quase metade (42,5 %) de todos os artigos não relatam o tipo de ferramenta de mobilidade empregada para as simulações.

Ao levar em conta os artigos relacionados à camada de aplicação, identificamos uma tendência específica: menos publicações consideram questões de segurança e eficiência, enquanto mais trabalhos lidam com entretenimento e detecção urbana. Os problemas anteriores

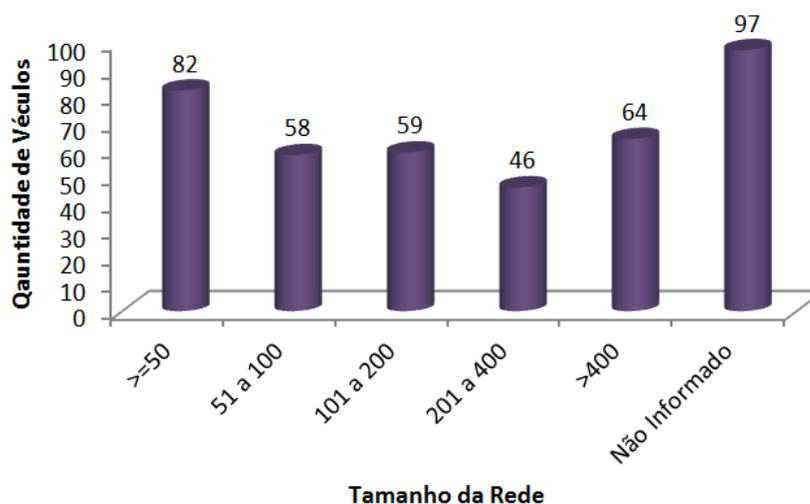
Figura 3.5: Ambiente de simulação de mobilidade.



estão entre as motivações originais para os estudos da VANET e sua integração com o Sistema de Transporte Inteligente (ITS). No entanto, para usuários finais ou a indústria, serviços integrados de entretenimento, como transmissão multimídia [83] (por exemplo, guia de vídeo turístico geo-localizado) e detecção urbana para um ambiente mais verde [84] (por exemplo, redução de CO₂ de emissão) são assuntos de pesquisas atuais e futuros.

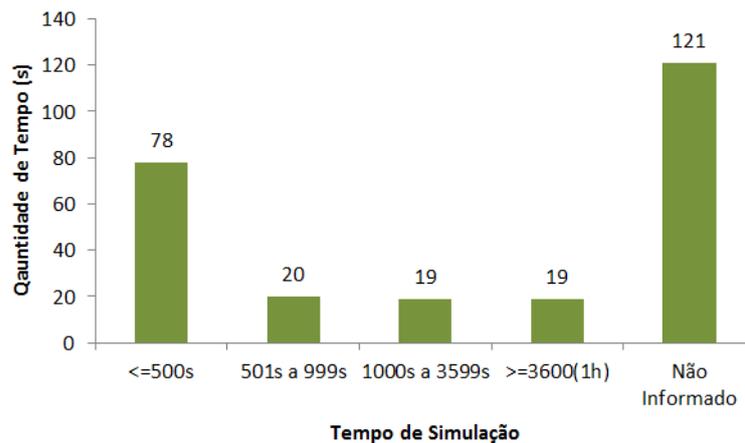
Na Figura 3.6, os resultados apresentam a quantidade de veículos distribuídos ao longo da simulação. A maior maior parte dos artigos não mencionou o número de veículos utilizados na pesquisa, e uma parcela desse total não fez uso de simulação. A escolha do número de veículos obteve maiores valores entre 50 e 200 veículos. Neste trabalho utilizamos variações entre 50 e 150 veículos.

Figura 3.6: Quantidade de veículos utilizados durante a simulação.



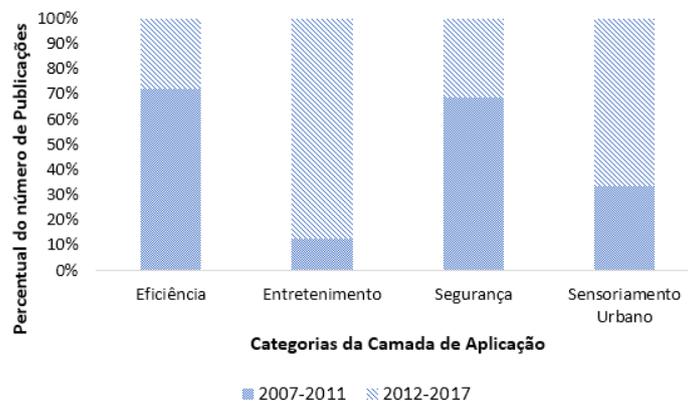
A duração de tempo em simulações também é um fator importante e primordial nas rede veiculares. A Figura 3.7 apresenta uma divisão de tempo entre valores menores ou iguais à 500s até 3600s, que equivale a uma hora. Simulações com duração igual ou menor que 500s obtiveram a maior quantidade de artigos, no entanto 121 trabalhos não informaram e/ou não realizaram simulações. Alguns autores utilizaram mais de um tempo em seus trabalhos.

Figura 3.7: Duração de tempo das simulações.



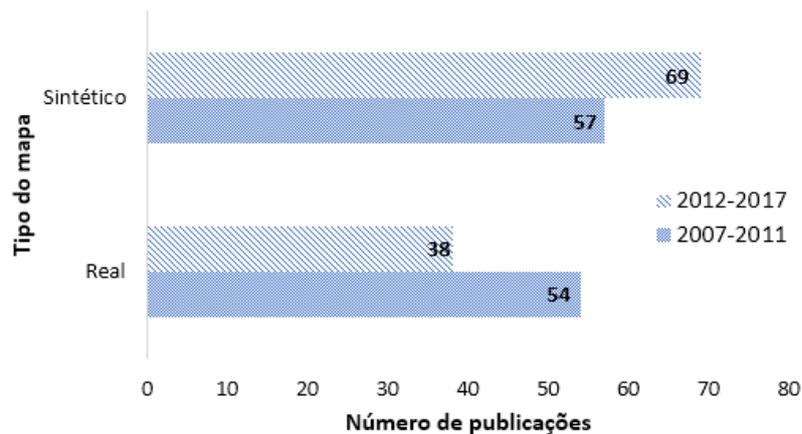
É possível que as categorias destas quatro aplicações sejam alvo de diferentes partes interessadas, conforme a Figura 3.8. Os fabricantes de veículos podem se concentrar em fornecer aplicações de segurança e detecção urbana, enquanto as agências públicas (por exemplo, o departamento de transporte) trabalhem no desenvolvimento de soluções eficientes para o tráfego. Por fim, as aplicações de entretenimento podem ser desenvolvidas pelas principais empresas de *software*.

Figura 3.8: Tendências de pesquisa para as aplicações em VANETs.



Embora de alguma forma inesperados, os resultados apresentados na Figura 3.9 mostram que a aplicação de mapas reais reduziu quando comparada a mapas sintéticos (ou seja, mapas definidos pelo usuário, geralmente em um estilo geográfico de Manhattan). Um cenário adequado deve ser baseado em um modelo de mobilidade realista e um mapa real, que pode ser facilmente realizado com ferramentas livremente disponíveis, como SUMO e OpenStreetMap [85].

Figura 3.9: Tipo ou estilo de mapa.



Além da análise geral do material e métodos apresentados nos artigos (como indicado na Tabela 3.4), também extraímos informações mais específicas relacionadas a três componentes principais para qualquer simulação de rede sem fio: modelo de mobilidade, modelo de propagação e protocolo de roteamento. Para cada um desses componentes, apresentamos as opções mais escolhidas.

A maioria dos artigos pesquisados empregou algum modelo de mobilidade: 221 de 283 (78,10 %); no entanto, apenas 43,44 % deles declararam qual modelo foi utilizado, resultando em uma considerável taxa de omissão de 56,56 %. Quanto ao modelo de propagação, observamos um resultado ainda pior (61,22 %).

Os modelos de propagação geralmente são integrados em simuladores de rede, enquanto ferramentas externas (por exemplo, SUMO [72]) são frequentemente escolhidas para gerar padrões realistas de movimento de veículos. Muitas vezes, os autores citam a ferramenta de mobilidade adotada, mas eles não mencionam qual modelo foi selecionado. As ferramentas do modelo de mobilidade, como VanetMobiSim [73], possuem vários modelos disponíveis para que seja primordial mencionar qual modelo específico foi escolhido (por exemplo, mo-

delo de *driver* inteligente com alterações de faixas, IDM-LC).

Com relação aos modelos de propagação, o Nakagami foi o modelo mais empregado, atingindo uma taxa de preferência de 40,96 %, seguido pelo modelo de dois raios com 31,32 %. Observe que essas porcentagens não são exclusivas, já que mais de um modelo é geralmente empregado no mesmo estudo.

A maioria dos simuladores de rede possui modelos determinísticos e probabilísticos, incluindo todos aqueles descritos em Table 3.5. No entanto, vários estudos sólidos (como [86]) mostraram que um modelo realista deve considerar os veículos como obstáculos, porque eles causam impacto na obstrução do LOS, na potência do sinal recebido e na taxa de recepção do pacote.

Cerca de um terço de todos os artigos usaram algum protocolo de roteamento (97 de 283, 34,28 %), sendo dois terços deles projetados pelos próprios autores. O protocolo geográfico GPRS e o protocolo reativo AODV foram os mais empregados, com 18,75 % e 14,06 %, respectivamente. Dentre os protocolos de estado de enlace, o OLSR foi o mais adotado, representando 9,38 % entre todos os protocolos. Em vários casos (13 de 64), os autores não mencionaram qual protocolo foi escolhido, mas apenas citaram a publicação onde o protocolo foi introduzido pela primeira vez.

3.4 Discussão

Algumas observações gerais podem ser destacadas dos resultados da pesquisa para indicar as tendências das pesquisas nos últimos anos, como o aumento do número de artigos publicados relacionados à camada física, camada de enlace e soluções de roteamento, além de novos serviços e estudos de gerenciamento de dados. Esse aumento está diretamente relacionado às novas demandas por soluções de usuários e fabricantes. O primeiro solicitou não apenas novas aplicações, mas principalmente novos mecanismos para melhorar as aplicações em termos de QoS, segurança e correlação geográfica, a fim de melhorar a experiência dos usuários. Os últimos precisam de novas tecnologias de infraestrutura para melhorar a transmissão de dados, enquanto suportam os serviços de novos usuários.

Por outro lado, as investigações sobre o comportamento de aplicativos dos usuários e a avaliação de desempenho comparando soluções existentes projetadas para diferentes ambi-

Tabela 3.5: Resultados da pesquisa sobre as preferências dos pesquisadores em modelos de mobilidade e propagação e protocolos de roteamento em estudos baseados em simulação.

Modelo de Mobilidade (MM)		
Total	Percentual	Descrição
221 de 283	78,18%	Utilizou MM na pesquisa.
96 de 221	43,44%	Informou o modelo/ferramenta usado.
34 de 96	35,42%	Apenas declarou a ferramenta geradora de mobilidade (por exemplo, VanetMobisim), não especificou o MM.
16 de 96	16,67%	Utilizou o modelo Manhattan.
14 de 96	14,58%	Utilizou modelo próprio.
13 de 96	13,54%	Utilizou o modelo IDM.
7 de 96	7,29%	Utilizou o modelo Freeway.
7 de 96	7,29%	Utilizou outros modelos.
4 de 96	4,17%	Utilizou apenas traços de mobilidade real.
3 de 96	3,13%	Utilizou o modelo randômico Waypoint.
Modelo de Propagação (MP)		
Total	Percentual	Descrição
214 de 283	75,62%	Utilizou MP na pesquisa.
83 de 214	38,78%	Informou o modelo utilizado.
34 de 83	40,96%	Utilizou o modelo Nakagami.
26 de 83	31,32%	Utilizou o modelo Two-Ray Ground.
8 de 83	9,64%	Utilizou o modelo Free Space (Friis).
8 de 83	9,64%	Utilizou o modelo Rayleigh.
7 de 83	8,43%	Outros modelos(em geral, CORNER).
6 de 83	7,23%	Utilizou modelo próprio.
Protocolo de Roteamento (PR)		
Total	Percentual	Descrição
97 de 283	41,34%	Utilizou PR na pesquisa.
64 de 97	27,35%	Informou o protocolo de roteamento utilizado.
33 de 64	11,11%	Utilizou protocolo próprio.
12 de 64	14,52%	Utilizou o protocolo GPSR.
9 de 64	14,52%	Utilizou o protocolo AODV.
6 de 64	6,83%	Utilizou o protocolo OLSR.
4 de 64	3,41%	Outros protocolos.
3 de 64	1,70%	Utilizou o protocolo DSR.
3 de 64	2,56%	Utilizou o protocolo DYMO.

entes (por exemplo, protocolos de roteamento MANETs aplicados nos cenários de VANETs) receberam menos atenção da comunidade. Esses dois tópicos foram extremamente importantes no desenvolvimento inicial das VANETs, uma vez que permitiram uma melhor compreensão do campo e como / quando as soluções existentes poderiam ser empregadas. Após esse momento, esperava-se que novas soluções fossem propostas considerando os requisitos específicos das VANETs, movimentando esforços para o desenho de novas tecnologias e protocolos.

Outro ponto interessante é o fato de que mais trabalhos estão contando com plataformas de simulação para realizar seus experimentos. Isso acontece porque plataformas de simulação mais sofisticadas e ferramentas auxiliares (por exemplo, modelos aprimorados para mobilidade, propagação de rádio e tráfego) foram desenvolvidas com foco em cenários específicos de VANETs. A evolução das ferramentas de suporte, como SUMO e VanetMobiSim, permitiu que os pesquisadores empregassem simuladores de rede de uso geral (principalmente NS2 e OMNet++) em vez de desenvolver novas ferramentas de simulação a partir do zero.

No entanto, a reprodutibilidade continua a ser um grande obstáculo, pois os autores raramente disponibilizam qualquer material (por exemplo, código-fonte, arquivos de configuração, conjuntos de dados e vestígios de mobilidade) para ser usado por outros pesquisadores. Além disso, um número considerável de artigos apresentou apenas informações básicas para entender os experimentos (por exemplo, a falta de número de corridas / tentativas, alcance de transmissão de rádio, tamanho da área de simulação, padrão de tráfego, modelo de mobilidade, modelo de propagação e protocolo de roteamento).

Considerando esses pontos específicos, quando se compara os resultados gerais apresentados pelo trabalho com os apresentados pelos trabalhos discutidos na Seção 3.2, é possível ver que alguns tópicos de pesquisa mudaram de prioridades. No entanto, embora tenha havido alguma evolução notável, a maioria dos problemas identificados anteriormente permanece presente nas publicações atuais.

3.5 Conclusão

À medida que as redes de veículos devem ser integradas com a tecnologia móvel 5G até 2020, foi possível observar que foram feitas menos pesquisas em relação à avaliação do desempenho do protocolo. O foco das pesquisas mudaram para novas soluções para serviços, tais como rastreamento de localização e correção de estimativa, QoS, protocolos de camada cruzada e maximização de recursos de rede com base na codificação de rede. Além disso, considerando as quatro categorias de aplicações de VANET como descritas por Gerla e Kleinrock [87], os resultados aqui dispostos indicam que menos publicações dizem respeito a questões de segurança e eficiência, enquanto um número crescente está relacionado ao entretenimento e à percepção urbana ambiental.

Os resultados desta pesquisa mostram que os estudos baseados em simulação de VANET ainda não possuem credibilidade devido a problemas semelhantes aos relatados em estudos anteriores publicados em 2002 [59], 2005 [58] e 2014 [57]. Além de omitir informações técnicas, como os modelos implícitos (por exemplo, mobilidade, propagação) e parâmetros de entrada/configuração, não foi possível identificar um único repositório para o código ou conjunto de dados resultante de qualquer um dos documentos pesquisados. No entanto, com o advento dos princípios científicos abertos e o desenvolvimento recente de plataformas baseadas na nuvem para o compartilhamento de dados de pesquisa (Tabela 3.3), é esperado que essa realidade mude nos próximos anos.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Nesta pesquisa, o principal programa utilizado foi o OMNeT++, pois é recomendado para construir e executar simulações em que ocorre a comunicação entre veículos, além de estar entre os programas mais utilizados nas pesquisas de VANET, conforme apresentado no Capítulo 3. Inicialmente, para realizar a coleta dos dados dos mapas, foi utilizada a plataforma *Open Street Map*. Em seguida, foi feita geração dos arquivos de rastros de movimento por meio da ferramenta VanetMobiSim e ao final o OMNeT++ foi responsável pelo tráfego de rede.

4.1 Simuladores e *Frameworks*

As simulações em VANET pode apresentar um alto custo e dificuldades de logística, pois é preciso a alocação de veículos em vias de trânsito e equipamentos para realizar o processamento da informação e comunicação durante a simulação [88]. A solução proposta para esta pesquisa foi utilizar um ambiente de simulação capaz de oferecer suporte a redes veiculares.

O simulador de tráfego VanetMobiSim e de rede OMNeT++ estão bem estabelecidos na comunidade acadêmica com muitos artigos publicados, conforme a revisão sistemática feita no Capítulo 3. Além disso, foi necessário instalar a extensão INET para contemplar protocolos de roteamento já implementados e desenvolvidos por pesquisadores. Seguem as versões dos simuladores utilizados durante as simulações.

- Simulador de rede: OMNeT++ versão 4.3 [70]

- Simulador de tráfego: VanetMobiSim versão 2.0 [89]
- Extensão: INET versão 2.3 [90]

4.1.1 OMNeT++

O uso do *Objective Modular Network Testbed in C++* (OMNeT++) tem crescido nos últimos anos em relação a outros simuladores como o NS-2, conforme foi apresentado no capítulo anterior. Esse crescimento, juntamente com a grande variedade de protocolos disponíveis para sistemas de comunicação sem fio, foram os dois pontos principais para a sua escolha para os experimentos que foram realizados.

O OMNeT++ é um simulador gratuito, de eventos modular orientado à objeto, geralmente usado para construir simuladores de rede. Por meio do *software*, é possível obter as funcionalidades específicas de domínio, como suporte para redes de sensores, redes *ad hoc* sem fio, protocolos de internet, modelagem de desempenho, redes fotônicas e redes veiculares [70].

Os modelos de *frameworks* são desenvolvidos como projetos independentes. O OMNeT oferece uma IDE baseado no *software* de desenvolvimento Eclipse, um ambiente de tempo de execução gráfico e uma série de outras ferramentas. Existem extensões para simulação em tempo real, emulação de rede, integração de banco de dados, integração *SystemC* e várias funções. O OMNeT++ pode ser executado no Windows, Linux, Mac OS e sistemas similares a Unix.

4.1.2 INET

INET Framework é uma biblioteca de código aberto utilizada pelo simulador OMNeT++. Fornece protocolos e modelos para pesquisadores e estudantes que desejam fazer uso e trabalhar com redes de comunicação. O INET se torna útil ao projetar e validar novos protocolos, ou explorar cenários novos [90].

O INET contém vários protocolos, dentre eles: Ethernet, PPP e IEEE 802.11, além do suporte para mobilidade. Demais estruturas de simulação tem o INET como base. Faz uso da infraestrutura fornecida pelo OMNeT++, assim como os serviços fornecidos pelo *kernel* e biblioteca de simulação OMNeT++. Portanto, significa que os modelos podem ser

desenvolvidos, montados, parametrizados, executados e seus resultados avaliados a partir da IDE do OMNeT++ ou linhas de comando [90].

Características:

- Camadas OSI implementadas (física, enlace, rede, transporte, aplicação);
- Implementações de protocolos interconectados por várias camadas;
- Protocolos de roteamento (*ad hoc* e com fio);
- Suporte à mobilidade.

4.1.3 VanetMobiSim

VanetMobiSim [91] é uma extensão do CanuMobiSim [92], um simulador genérico de mobilidade do usuário. O CanuMobiSim oferece uma arquitetura de mobilidade eficiente e facilmente extensível, mas devido à sua natureza de propósito geral, sofre com um nível reduzido de detalhes em cenários específicos. O VanetMobiSim tem por objetivo estender o suporte de mobilidade veicular do CanuMobiSim a um grau mais alto de realismo [93].

Por meio deste *software*, é possível delimitar a topologia, a estrutura da estrada (unidirecional ou bidirecional), as características da estrada (limites de velocidade, restrições de veículos) e a presença de sinais de trânsito (sinais de parada, semáforos, etc.). Além disso, esta ferramenta inclui também os efeitos da presença de pontos de interesse, que influenciam padrões de movimento de veículos na topologia [93].

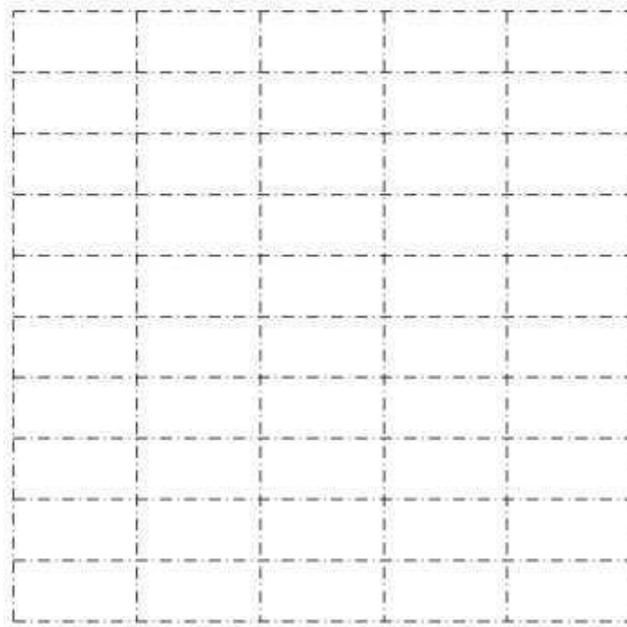
4.2 Ambientes

Foram considerados cenários com mobilidade veicular gerados a partir dos arquivos com a ferramenta VanetMobiSim [91]. O modelo de mobilidade utilizado foi o IDM-LC que regula a velocidade do veículo de acordo com os veículos vizinhos. Além disso, possibilita que os carros parem em cruzamentos, mudem de faixa ou ultrapassem outros veículos [28].

São considerados dois cenários de topologia da rede de veículos: um sintético e outro real. O primeiro consiste em uma grade quadrangular de 1000 metros de lado contendo seis

ruas verticais e onze horizontais, totalizando um total de 66 quarteirões idênticos de 200 m x 100 m [28]. As dimensões desse mapa são semelhantes à Ilha de Manhattan localizada em Nova Iorque, conforme apresenta a Figura 4.1.

Figura 4.1: Mapa sintético em forma de grade.



Fonte: Retirado de [28]

A Figura 4.2 representa o segundo cenário, em que foi utilizado um trecho do mapa da cidade de Campina Grande (PB), com dimensão aproximada de 1500 m x 1000 m, proveniente de uma zona predominantemente residencial da cidade. Nessa figura, pode-se observar áreas heterogêneas quanto às dimensões dos quarteirões. Para obter esse mapa, foi utilizada a plataforma de dados abertos do *OpenStreetMap* [85]. O mapa extraído foi inserido na simulação de mobilidade veicular da VanetMobiSim.

Esses dois ambientes foram considerados com o objetivo de ter uma topologia mais padronizada e já utilizada em outros trabalhos (Manhattan) e uma outra real, podendo dessa maneira investigar a variação que pode ocorrer no desempenho dos protocolos de acordo com o ambiente ao qual eles são submetidos na avaliação.

Figura 4.2: Trecho de mapa da cidade de Campina Grande.



Fonte: Retirado de [28]

4.3 Descrição dos Cenários

A geração dos cenários ocorreram de 192 formas, em que cada uma dela varia de acordo com os parâmetros descritos na Tabela 4.1. Para alcançar resultados mais coerentes, deve-se executar uma quantidade satisfatória de simulações, considerando um determinado intervalo de confiança [94]. Assim, determinou-se uma amostra de 10 execuções para 95% de confiança. De modo que cada cenário de simulação foi executado 10 vezes, variando a semente de aleatoriedade, o que garante diferentes resultados.

Em todos os cenários, variou-se o número de nós na rede de 50 a 150, com o intuito de comparar os protocolos em situações de baixa e alta densidade de veículos. O tamanho do mapa foi modificado entre grande, (i.e., o tamanho original sintético $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$ e real $1500\text{ m} \times 1000\text{ m}$), e intermediário (sintético $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ e real $750\text{ m} \times 500\text{ m}$) ou seja metade do tamanho do mapa original para também influenciar na densidade de carros no ambiente.

No mapa sintético, a velocidade dos nós varia entre 36 km/h e 72 km/h e o número de cruzamentos com semáforo é 20. No mapa real, as velocidades mínima e máxima são de 18 a 54 km/h , e o número de cruzamentos com semáforos é de apenas 10. O objetivo é que o cenário sintético possa representar uma região comercial da cidade, onde naturalmente existem mais semáforos, enquanto que o mapa real represente uma região predominantemente

residencial, onde existem menos semáforos e a velocidade média dos veículos é menor.

Utilizou-se o módulo UDPBasicBurst para modelar a aplicação da rede, a qual consiste no envio periódico de rajadas de pacotes UDP para um ou mais endereços de destino. A taxa de envio foi de 4 pacotes/s, com cada pacote de tamanho 512 bytes. Pacotes com atraso superior a 5 segundos eram descartados pelo nó destino [28].

Inicialmente, foi gerado os arquivos de padrões de tráfego e de mobilidade por meio do VanetMobiSim, é possível ter acesso aos arquivos completos no *Figshare* [95]. A combinação no conjunto de arquivos resulta em um conjunto de experimentos de simulação, realizados para cada um dos dois protocolos de roteamento (OLSR e GPSR). Esses dois protocolos foram utilizados por terem sido os dois protocolos específicos para redes veiculares que tiveram mais ocorrências no levantamento realizado.

Tabela 4.1: Parâmetros de Simulação e Configuração dos Cenários.

Parâmetros	Valores
Mapa	Real, Sintético
Tamanho do mapa	Grande, Intermediário
Protocolos de Roteamento	OLSR, GPSR
Número de Veículos	50, 100, 150
Velocidade (mobilidade)	(18 <i>km/h</i> , 54 <i>km/h</i>), (36 <i>km/h</i> , 72 <i>km/h</i>)
Pares de nós transmissores/receptores	Um transmissor e três receptores
Taxa de envio	4 pacotes/ <i>s</i>
Raio de Comunicação	200 <i>m</i>
Tempo de Simulação	50 <i>s</i> , 1000 <i>s</i>
Tipo de tráfego	CBR
Protocolo de transporte	UDP
Tecnologia de comunicação	IEEE 802.11g
Tamanho do Pacote	512 <i>bytes</i>
Modelo de Mobilidade	IDM-LC
Modelo de Propagação	<i>Two-Ray Ground</i>

4.4 Execução das Simulações

Após preparar e configurar os *softwares* e extensão em uma máquina virtual Windows, todos os experimentos de simulação foram replicados em outras máquinas virtuais, visto que eles consumiriam muito processamento e alocação de muitas máquinas reais, além disso levaria mais tempo para configurá-los em cada máquina real.

Devido a esses motivos, foi utilizada uma máquina real e duas máquinas virtuais para otimizar os trabalhos e o tempo de simulação foi de 50 segundos, em cada um dos 96 cenários. Os recursos computacionais de *hardware* e sistema operacional utilizadas nas etapas de preparação, execução e análise das simulações são apresentadas a seguir com as respectivas configurações.

- *Máquina real*

Sistema Operacional: Linux Ubuntu Desktop 12.02 64-bits

Processador: Intel Core i7 3.60 GHz

Memória: DDRIII 16 GB

Disco Rígido: 1 TB

Etapa: Preparação e Análise

- *Máquina virtual*

Sistema Operacional: Windows 7 Ultimate 64-bits

Memória: 1 GB

Modo de Rede: NAT

Armazenamento: 25 GB

Etapa: Execução, Preparação e Análise

4.5 Métricas de Desempenho

Em relação às métricas de desempenho, embora não exista uma normalização universal na literatura, foram utilizadas as seguintes definições, as quais foram elaboradas a partir das definições comuns existentes em várias fontes bibliográficas [28; 96; 97; 98]:

- **Taxa de entrega de pacotes** (do inglês, *Packet Delivery Ratio* - PDR), [97]: representa o total de pacotes recebidos no destino pelo total de pacotes enviados pelo no fonte;

- **Atraso fim a fim:** corresponde ao tempo médio que um pacote de dados leva desde da origem até chegar ao seu destino. Resulta no atraso a descoberta da rota acrescido do somatório, para cada salto, dos quatro tipos de atrasos existente em redes de computadores [99]: transmissão, propagação, processamento e fila. Para o cálculo do atraso médio, foram considerados apenas os pacotes que chegaram ao destino em ordem.
- **Overhead:** A sobrecarga de roteamento refere-se às informações de rede enviadas pelo protocolo. A partir da largura de banda disponível para protocolos de comunicação. A taxa de sobrecarga de roteamento é determinado pelo total de pacotes de emitidos sobre o número total de pacotes transmitidos na rede [20; 100].

4.6 Conclusão

Neste capítulo foram descritas as ferramentas utilizadas durante as simulações. Para validar as escolhas deste estudo foi enfatizado no Capítulo anterior a importância da escolha dos parâmetros, simuladores e ambientes de simulação mais utilizados em pesquisas na área de VANET ao longo dos últimos onze anos. Ao final foi relatado quais são as métricas usadas nesta análise, conforme será apresentado no próximo capítulo sobre a análise dos resultados.

Capítulo 5

Apresentação e Análise dos Resultados

Antes de conduzir os experimentos no trabalho, foram realizados alguns estudos preliminares, levando em consideração os achados encontrados no Capítulo 3. Conforme mencionado nos capítulos anteriores, a escolha dos parâmetros de simulação é um fator preponderante no decorrer da pesquisa, que pode afetar diretamente os resultados obtidos. Nesta seção será apresentada a avaliação preliminar dos resultados e também as métricas da taxa de entrega de pacotes, atraso fim a fim e *overhead*.

Para permitir melhor definição de alguns dos parâmetros a serem considerados, foi modificado o tamanho do mapa em três tipos: pequeno, intermediário e grande, além disso foi subdividido cada tamanho do mapa em real e sintético. Na primeira tentativa o tamanho do mapa foi do tipo pequeno, no qual o mapa real foi definido em uma área de $150\text{ m} \times 100\text{ m}$ e o mapa sintético foi de $100\text{ m} \times 100\text{ m}$. O resultado não apresentou variações na taxa de entrega dos pacotes, pois em todos os cenários com a taxa de *bits* em 0,1, 0,25 e 0,5 a taxa de entrega foi de 100%, ou seja todos os pacotes enviados foram recebidos.

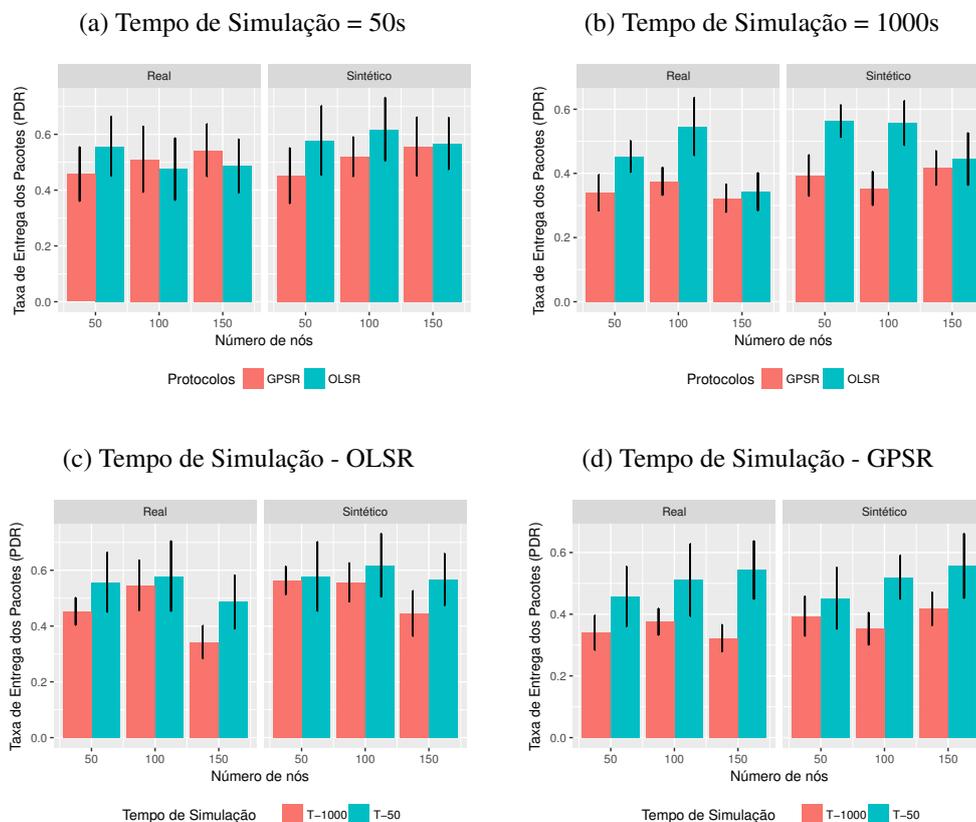
Tendo em vista esses resultados, esta primeira configuração de mapa mais reduzida foi descartada, pois devido à área da simulação ser pequena todos os pacotes enviados foram recebidos, porque o raio de comunicação é 200 m , isto é o valor do raio foi maior do que a área de simulação da rede, o que faz com que se tenha um resultado que não são representativos para um ambiente típico de redes veiculares.

5.1 Avaliação dos Protocolos de Roteamento

5.1.1 Quando modifica o tipo do mapa o desempenho dos protocolos de roteamento melhora?

A Figura 5.1a mostra os gráficos da taxa de entrega dos pacotes variando o número de nós e os protocolos de roteamento com o tempo de simulação de 50s, para um cenário com topologia real e outro com topologia sintética. Como pode ser observado, no cenário real o protocolo GPSR proporcionou melhores resultados. O protocolo OLSR apresentou mais oscilações em ambos os cenários e apresentou a maior taxa (61%) no cenário sintético com 100 nós. Quando o tempo de simulação foi de 1000s, conforme apresenta a Figura 5.1b, a maior taxa de entrega dos pacotes foi de 58% no cenário sintético. O protocolo OLSR obteve os maiores valores de PDR, no entanto, à medida que o número de nós aumenta, há uma diminuição do PDR.

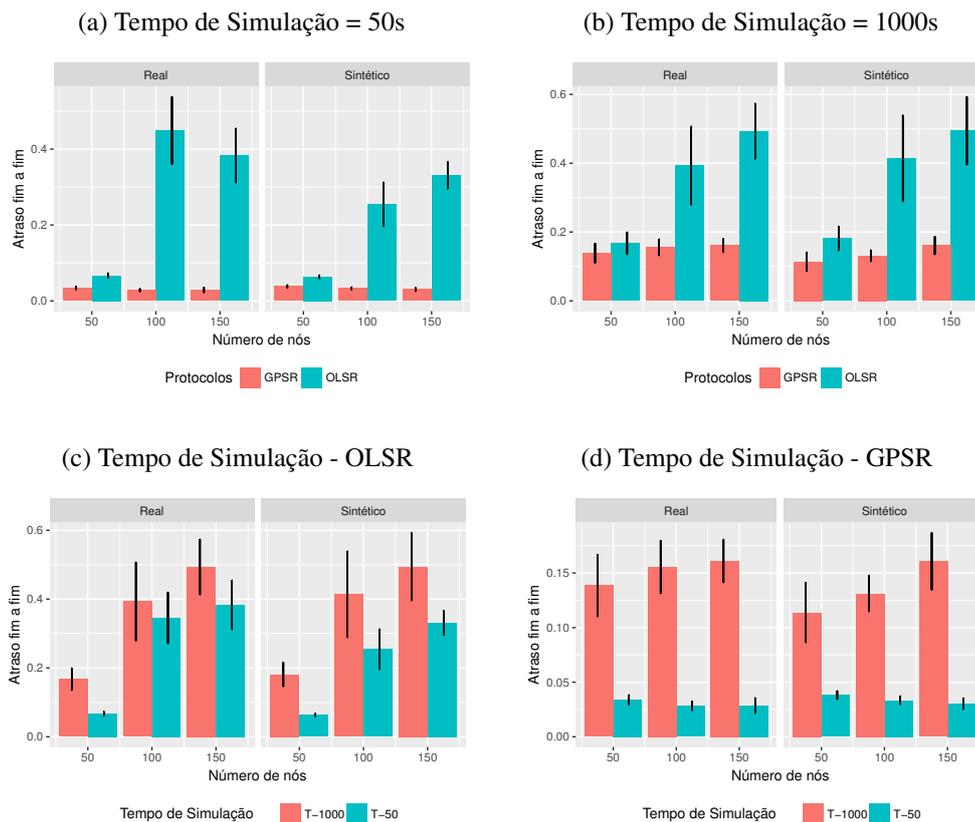
Figura 5.1: Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.



Ao comparar os tempos de simulação no protocolos OLSR, conforme apresenta a Figura 5.1c, no cenário real com tempo de simulação de 50s atingiu os maiores valores de PDR e sua maior taxa foi de 59% com 100 nós na rede. No cenário sintético, os resultados foram semelhantes, porém quando o tempo foi de 1000s houve uma diminuição do PDR a medida em que o número de nós aumenta. A Figura 5.1d apresenta um PDR maior em todos os cenários do protocolo OLSR, o tempo de simulação de 50s melhora a média que aumenta o número de nós na rede.

A Figura 5.2a expõe os resultados em relação ao atraso no cenário real e sintético e em ambos os cenários o protocolo GPSR obteve os menores valores. Talvez pela política de retransmissão adotada pelo OLSR, em que o pacote deverá ser retransmitido caso não tenha sido recebido ou o nó faça parte do MPR (Retransmissores Multiponto) do último nó emissor.

Figura 5.2: Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.



Desse modo, o protocolo OLSR obteve valores altos de atraso no cenário real e sintético, e o protocolo GPSR que não realiza retransmissões obteve valores menores. A diferença

entre os valores de atraso fim a fim dos dois protocolos permaneceu similar ao anterior apesar de aumentar o tempo de simulação para 1000s (Figura 5.2b).

A Figura 5.2c mostra o atraso fim a fim do protocolo OLSR com tempos de simulação distintos, 1000s e 50s. Em todos os cenários com o tempo de simulação maior (1000s) o valor do atraso foi maior se comparado ao tempo menor (50s). No cenário real e sintético, o valor correspondente ao atraso cresce em conformidade com o número de nós na rede. Da mesma forma, a Figura 5.2d apresenta valores de atraso maior em todos os cenários, além disso a diferença entre os tempos de simulação é maior.

Um comparativo do *overhead* da rede entre os protocolos no cenário real e sintético, conforme apresenta a Figura 5.3, é possível observar uma variação entre os protocolos. Em que, a taxa de *overhead* foi maior em todos os cenários reais e manteve-se alta no cenário sintético, independente do tempo de simulação, conforme as Figuras 5.3a e 5.3b.

A Tabela 5.1 mostra a distância entre os valores de média nos cenários reais e sintéticos, assim como o desvio padrão entre eles. A maior média com tempo de simulação de 50s foi de 23,73 no cenário com o protocolo OLSR, mapa Real e 150 nós. Enquanto, quando o tempo de simulação foi de 1000s a maior média é 986,81 no mesmo cenário.

Figura 5.3: Comparativo do *overhead* dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.

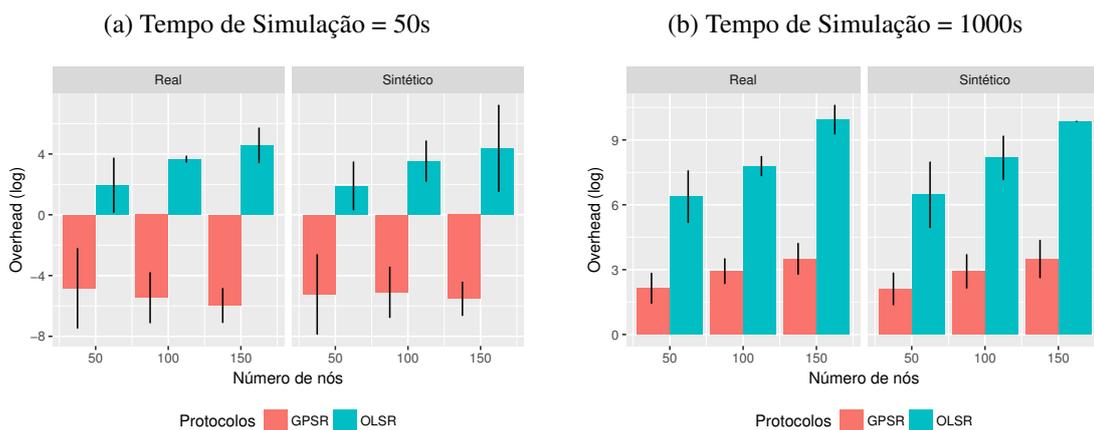


Tabela 5.1: Comparativo da métrica de *overhead* dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.

Protocolo	Mapa	Qtde de Nós	Tempo de Simulação 50s		Tempo de Simulação 1000s	
			Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
OLSR	Real	50	3,85	0,29	83,76	2,33
OLSR	Sintético	50	3,75	0,33	88,08	2,91
OLSR	Real	100	12,7	0,86	221,82	1,38
OLSR	Sintético	100	11,6	0,4	221,81	2,03
OLSR	Real	150	23,76	0,44	986,81	1,61
OLSR	Sintético	150	20,8	0,137	934,69	1,02
GPSR	Real	50	0,16	0,04	4,43	1,65
GPSR	Sintético	50	0,15	0,03	4,34	1,69
GPSR	Real	100	0,31	0,02	7,65	0,66
GPSR	Sintético	100	0,31	0,02	7,61	0,58
GPSR	Real	150	0,46	0,02	11,33	0,60
GPSR	Sintético	150	0,45	0,01	11,29	0,54

5.1.2 A velocidade dos veículos afeta o desempenho dos protocolos de roteamento?

A Figura 5.4a apresenta um comparativo entre os protocolos de roteamento quando ocorre variações de velocidade dos nós na rede. Os resultados obtidos dos protocolos de roteamento são similares, quando a velocidade foi alta houve um aumento das taxas do OLSR e uma oscilação do GPSR.

Entretanto, quando a velocidade foi baixa, a taxa do GPSR permaneceu crescendo e no OLSR houve uma diminuição à medida que mudava o número de nós. As maiores taxas são do protocolo OLSR com a velocidade alta (61%) e baixa (51%), a maior taxa do protocolo GPSR foi de 58%.

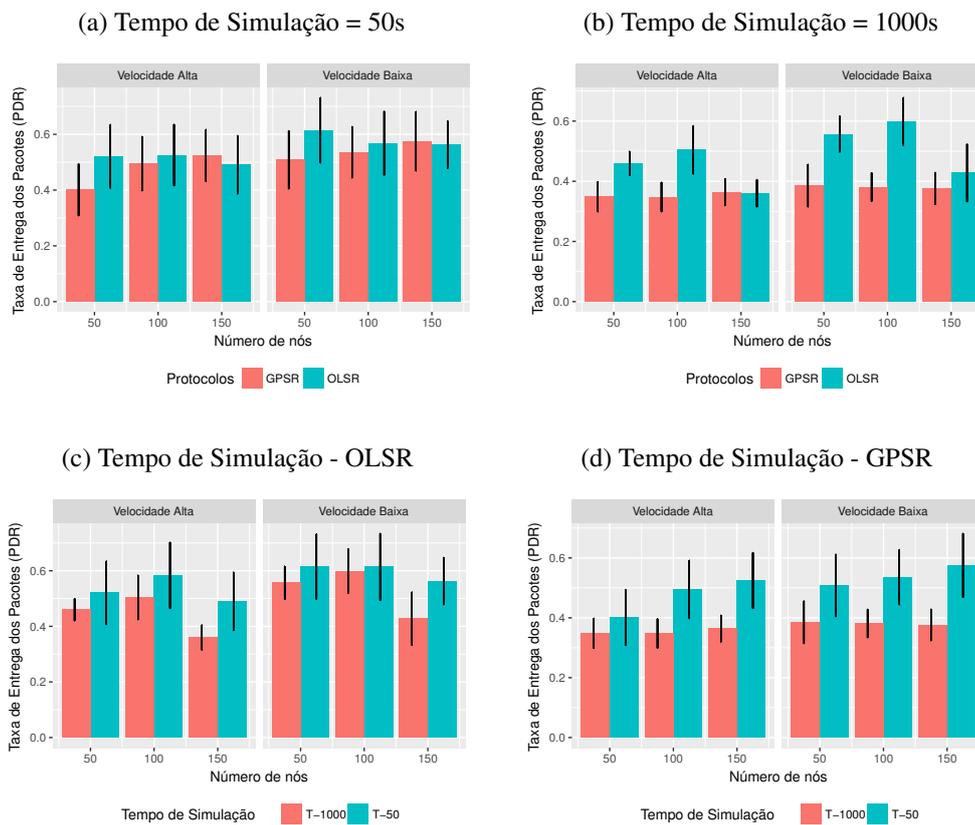
A Figura 5.4b mostra uma variação entre os valores de PDR do protocolo GPSR em ambos os cenários com velocidade dos nós alta e baixa. É possível notar que as taxas do protocolo OLSR são maiores, no cenário com 100 nós no cenário de baixa velocidade a taxa

doi de 60%, aproximadamente. No entanto, há uma oscilação quando varia a quantidade de veículos.

A variação dos tempos de simulação do protocolo OLSR foi maior no que diz respeito ao PDR, em que no cenário com velocidade dos nós alta os maiores valores foi do tempo de simulação com 50s, assim como no cenário com velocidade baixa, conforme mostra a Figura 5.4c.

Na Figura 5.4d é possível observar que o PDR aumenta com o acréscimo do número de nós da rede no tempo de 50s, diferentemente do tempo de 1000s que permanece com poucas variações da PDR, em ambos os cenários do tempo de simulação com o protocolo de roteamento GPSR.

Figura 5.4: Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.



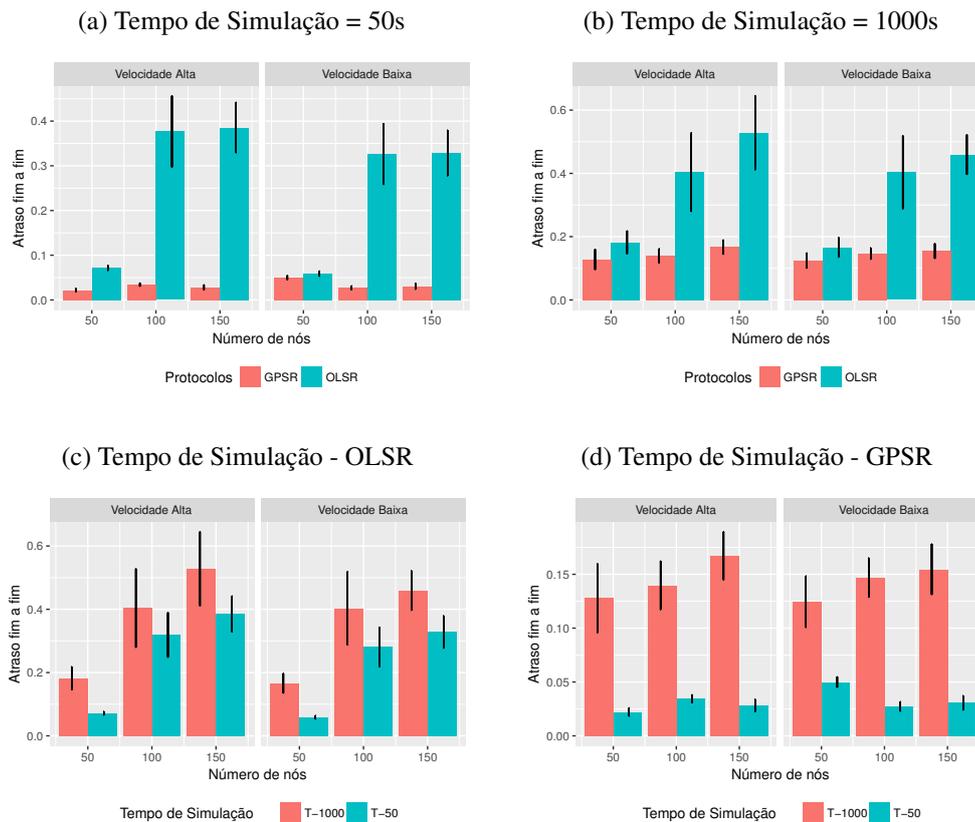
Constatou-se novamente no gráfico da Figura 5.5a uma diferença significativa entre os valores de atraso dos protocolos GPSR e OLSR. Nesse cenário com variações de velocidade, o GPSR manteve-se mais eficiente do que o OLSR. As variações em quase todos os cenários

foi distinta, principalmente para os cenários com 100 e 150, nós o atraso do OLSR foi maior.

Os resultados da métrica de atraso foram similares em ambos os cenários da Figura 5.5b, apenas houve uma diminuição no cenário de baixa velocidade com 150 nós, se comparado ao mesmo cenário com alta velocidade dos nós. A diferença entre os protocolos no cenário com 50 nós permaneceu similar entre o tempo de simulação de 50s e 1000s.

A Figura 5.5c expõe um atraso fim a fim do OLSR, que ocorre de forma crescente com o tempo de simulação de 1000s. De forma semelhante, quando o tempo é 50s o atraso aumenta com aumento do número de nós, no entanto, se comparado ao tempo de 1000s os valores de atraso com 50s foi menor. A Figura 5.5d apresenta os valores de tempo para o protocolo GPSR e o resultado foi similar com a Figura 5.5c, porém a diferença entre os valores de atraso foram maiores.

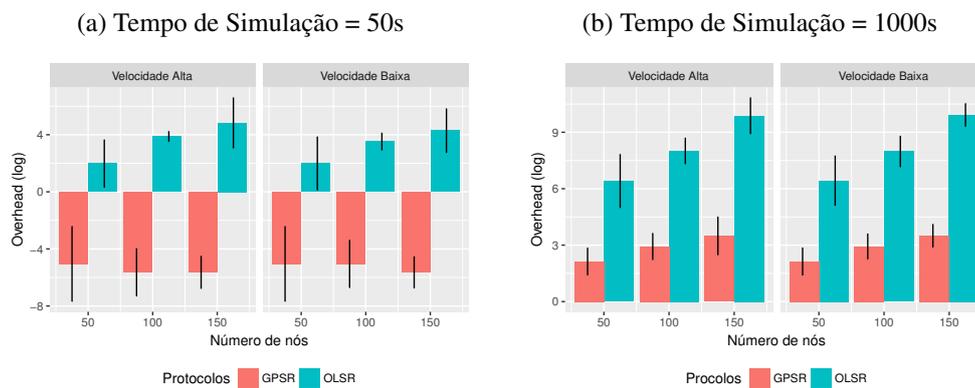
Figura 5.5: Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.



A Figura 5.6 apresenta os valores referentes a métrica de *overhead* quando ocorre a

alteração da velocidade dos veículos na rede. A partir da variação do número de nós o protocolo OLSR permanece com alta taxa de *overhead*, em que a medida que o número de nós aumenta o valor correspondente a taxa de *overhead* cresce, conforme a Figura 5.6a. É notório a diferença entre os protocolos, principalmente na Figura 5.6b, o qual a taxa de *overhead* do protocolo OLSR é maior.

Figura 5.6: Comparativo do *overhead* dos protocolos de roteamento com variações de velocidade.



Dessa forma, a maior média com tempo de simulação de 50s foi de 28,63 e a menor de 0,16. Em 1000s a maior média foi de 973,68 e a menor de 4,38, conforme a Tabela 5.2. O protocolo OLSR obteve os maiores valores e o protocolo GPSR as menores taxas de *overhead*.

Uma hipótese para essa diferença entre os protocolos é que para o funcionamento do protocolo OLSR, é necessário utilizar um número maior pacotes de roteamento em nós que não participam da comunicação efetivamente em comparação com o protocolo GPSR, reafirmada pelas métricas descritas anteriormente, PDR e atraso fim a fim.

Tabela 5.2: Comparativo da métrica de *overhead* dos protocolos de roteamento no cenário real e sintético.

Protocolo	Velocidade	Qtde de Nós	Tempo de Simulação 50s		Tempo de Simulação 1000s	
			Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
OLSR	Alta	50	3,97	0,31	85,42	2,71
OLSR	Baixa	50	4,0	0,27	86,41	2,53
OLSR	Alta	100	14,8	0,8	257,86	1,63
OLSR	Baixa	100	11,5	0,6	252,79	1,78
OLSR	Alta	150	28,63	0,28	947,83	1,97
OLSR	Baixa	150	19,7	0,34	973,68	0,65
GPSR	Alta	50	0,16	0,03	4,38	1,66
GPSR	Baixa	50	0,16	0,03	4,40	1,68
GPSR	Alta	100	0,31	0,02	7,63	0,61
GPSR	Baixa	100	0,32	0,02	7,63	0,62
GPSR	Alta	150	0,46	0,01	11,27	0,49
GPSR	Baixa	150	0,45	0,02	11,36	0,65

5.1.3 De que modo a quantidade dos nós no ambiente afeta as métricas de PDR, atraso fim a fim e *overhead*?

As redes veiculares são dinâmicas. Nesses casos, pode haver uma grande dispersão ou concentração de veículos. A Figura 5.7a apresenta os valores de PDR em cada grupo de veículos. Os resultados demonstram que houve uma similaridade dos resultados.

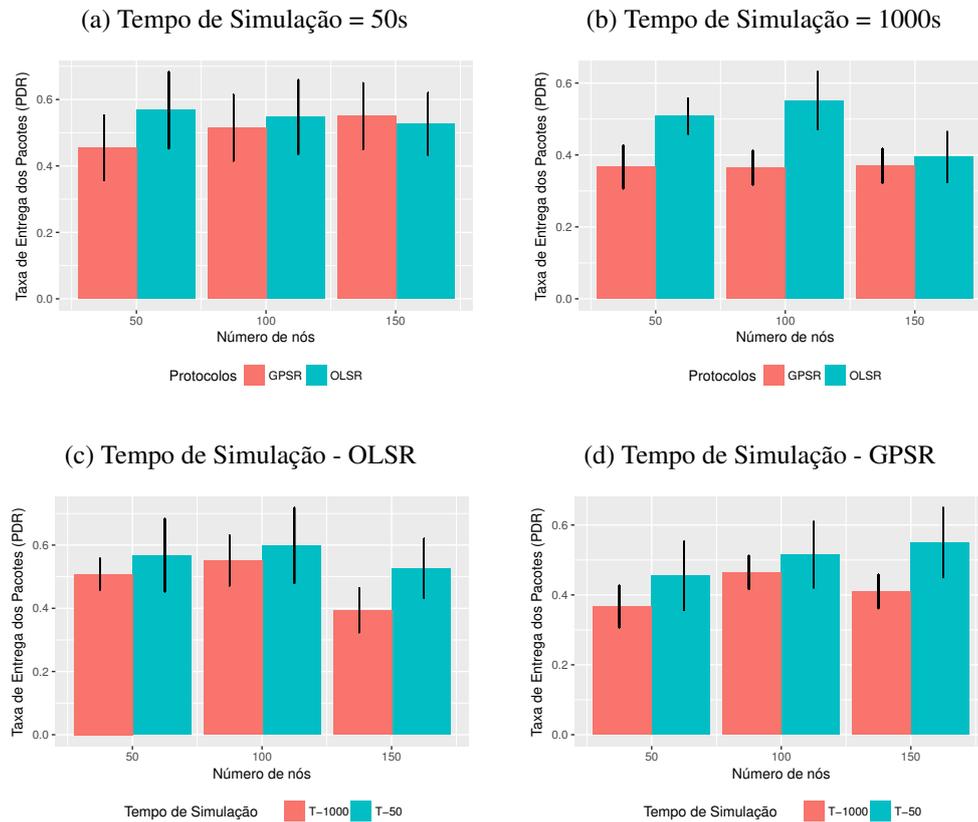
Porém, quando o número de veículos foi menor o OLSR apresentou uma PDR média de 56% maior do que 45% do protocolo GPSR com 50 nós. Nos outros cenários os valores da taxa de pacotes foi similar.

No cenário com o tempo de simulação de 1000s, conforme a Figura 5.7b, apresenta um aumento na taxa do protocolo OLSR quando há 100 nós na rede e o protocolo GPSR permaneceu com valores de taxa semelhante em cenários distintos.

A Figura 5.7c apresenta os resultados do PDR ao modificar o tempo de simulação do protocolo de roteamento OLSR. Em todos os cenários o PDR foi similar, pois levando em

consideração do desvio padrão não houve diferença entre os tempos. A Figura 5.7d representa o protocolo GPSR, o qual manteve semelhante a figura anterior.

Figura 5.7: Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.

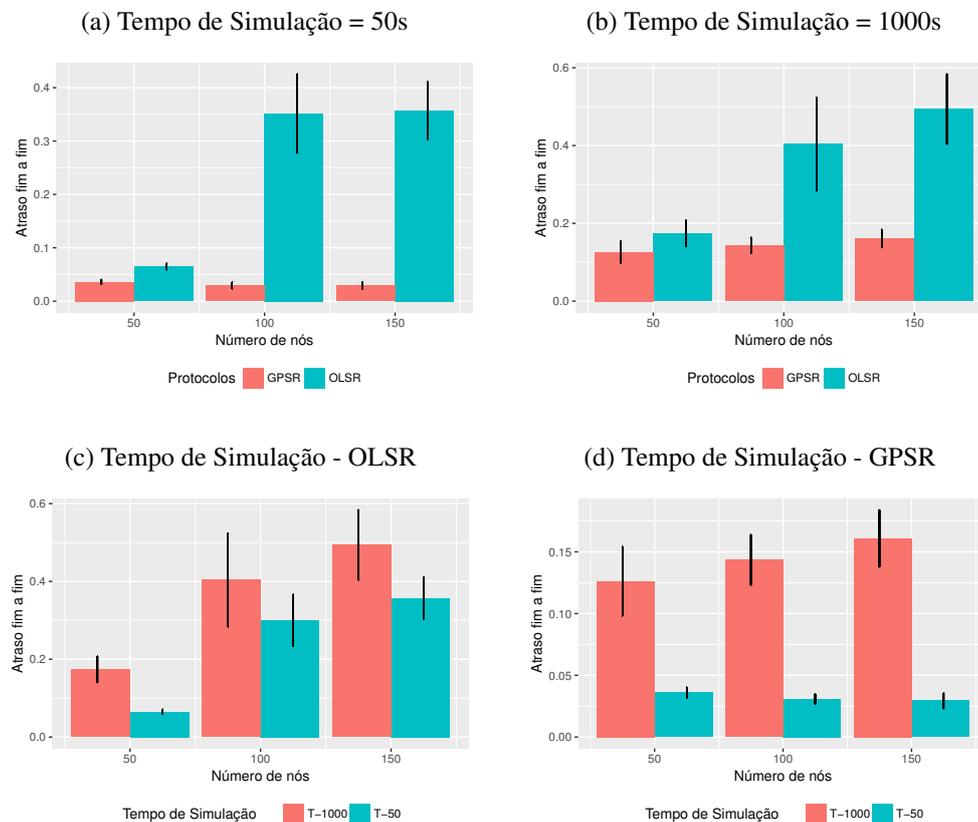


No âmbito da concentração ou dispersão dos veículos a partir do atraso fim a fim comparando os protocolos, conforme é evidenciado na Figura 5.8a, as diferenças entre GPSR e OLSR permanece. O protocolo OLSR obteve valores de atraso mais elevados principalmente quando há um aumento no número dos nós, diferente do GPSR que manteve-se semelhante. A Figura 5.8b mostra uma diferença menor entre os valores de atraso dos protocolos, porém a uma distância significativa principalmente nos cenários em que o número de nós é 100 e 150.

As diferenças de tempo para o protocolo OLSR, conforme a Figura 5.8c, a maior diferença de atraso foi quando o número de nós estava em 50 nós entre os tempos de simulação de 1000s e 50s, os demais cenários foi semelhante. A Figura 5.8d que corresponde ao pro-

tolocoo GPSR, a diferença do atraso foi maior quando o tempo de simulação foi de 1000s.

Figura 5.8: Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.



A Figura 5.9 apresenta um comparativo do *overhead* entre os protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós. Há um aumento da taxa de *overhead* a medida em que o número de nós cresce, conforme apresentam as Figuras 5.9a e 5.9b. Porém, devido ao tempo de simulação ser menor, o cenário com o tempo de simulação de 50s as taxas foram menores do que as simulações em 1000s.

A Tabela 5.3 mostra os valores de média e desvio padrão correspondente a cada cenário a partir da quantidade dos nós. A maior média foi do cenário com o protocolo OLSR, 150 nós em 1000s, a taxa de *overhead* foi de 960,75. Em 50s a menor média foi de 0,16 do protocolo GPSR e 50 nós.

Figura 5.9: Comparativo do *overhead* dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.

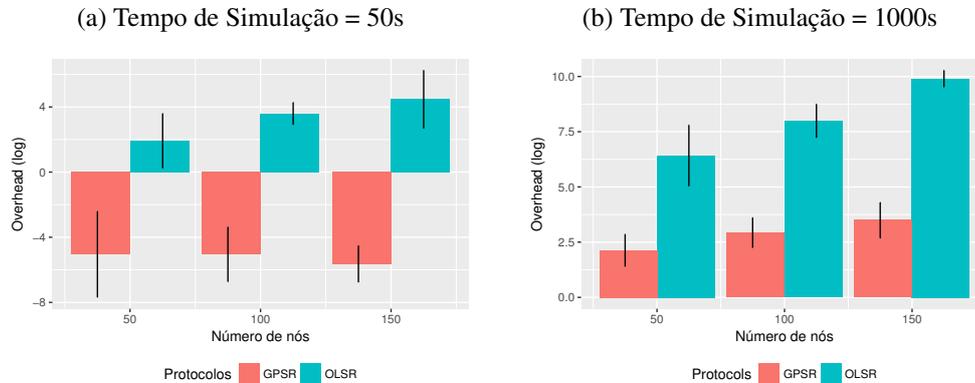


Tabela 5.3: Comparativo da métrica de *overhead* dos protocolos de roteamento a partir da quantidade dos nós.

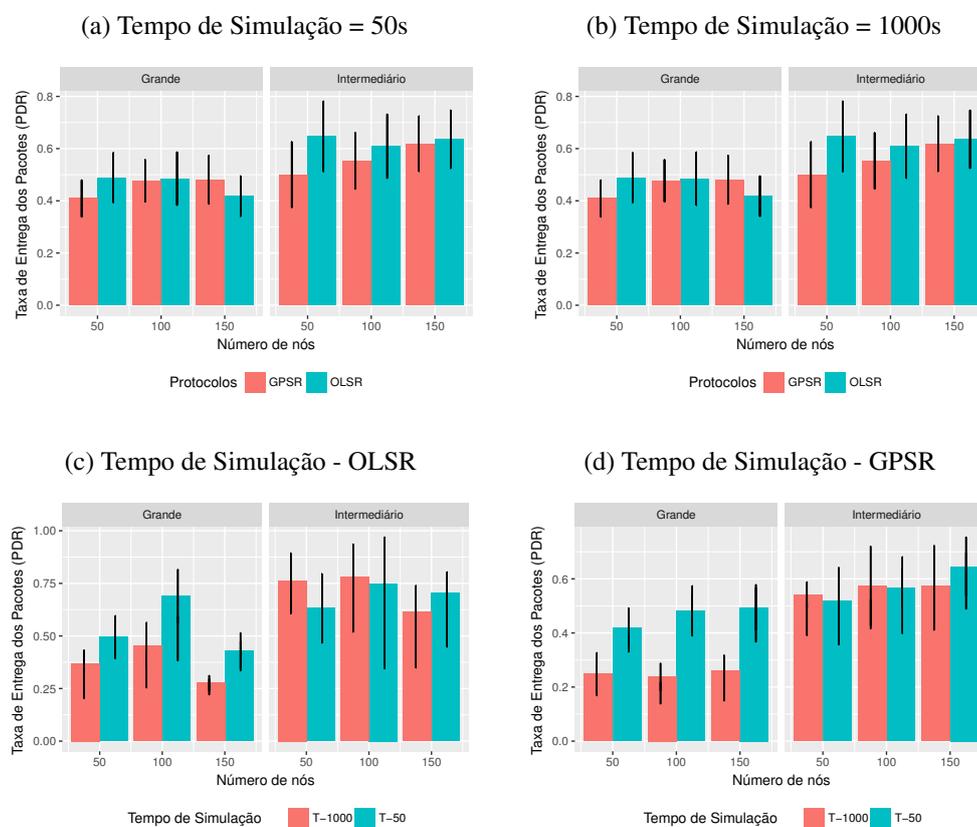
Protocolo	Qtde de Nós	Tempo de Simulação 50s		Tempo de Simulação 1000s	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
OLSR	50	3,80	0,31	85,92	2,62
OLSR	100	12,13	0,62	255,32	1,70
OLSR	150	22,28	0,29	960,75	1,31
GPSR	50	0,16	0,03	4,39	1,67
GPSR	100	0,31	0,02	7,63	0,62
GPSR	150	0,46	0,02	11,31	0,52

5.1.4 O tamanho do mapa pode ocasionar melhores resultados dos protocolos de roteamento?

Observa-se na Figura 5.10a mudanças no tamanho do mapa entre grande e intermediário. Nos cenários em que o mapa foi maior houve uma similaridade dos valores, no entanto quando o tamanho do mapa diminui o protocolo OLSR obteve os maiores resultados. A Figura 5.10b apresenta um tempo de simulação maior e os resultados para o cenário com mapa grande foi menor do que com simulação de 50s e no cenário com mapa intermediário o intervalo de confiança aumentou significativamente.

A Figura 5.10c expõe diferentes tempo de simulação aplicados ao procolos OLSR, no qual quando o tempo de simulação foi de 50s os valores de PDR foram maiores, porém o desvio padrão em seus valores é alto no cenário com mapa grande, no entanto no cenário com mapa intermediário as taxa são similares. Os resultado do procolo GPSR apresentado na Figura 5.10d no cenário com mapa grande o PDR obteve os maiores valores e no cenário com mapa intermediário os resultados foram semelhantes.

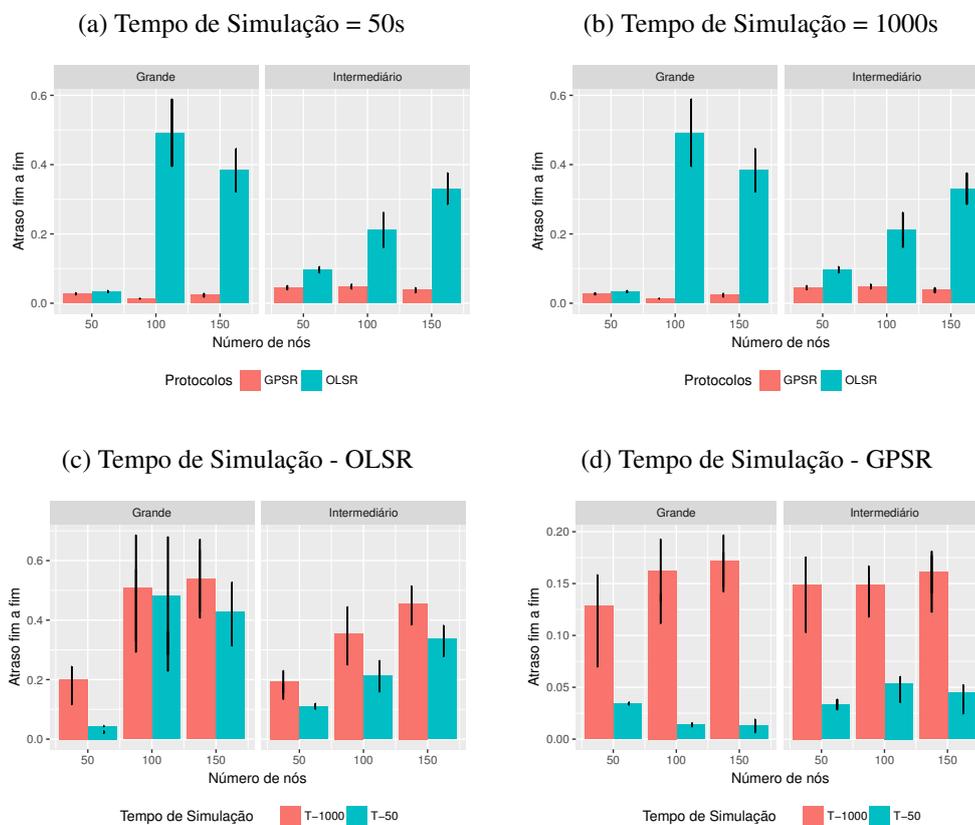
Figura 5.10: Comparativo do PDR dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.



Os resultados referentes ao tamanho do mapa em relação ao atraso são representados na Figura 5.11a. É possível observar que quando o mapa é grande existe uma similaridade no instante com 50 nós. Nos cenários de mapa intermediário existe um aumento progressivo dos valores de atraso do protocolo OLSR quando aumenta o número dos nós. Na Figura 5.11b a diferença entre os protocolos diminui, porém quando o número de nós aumenta a diferença permaneceu crescendo.

A Figura 5.11c apresenta a partir da métrica de atraso fim a fim o valor correspondente ao tempo de simulação do protocolo OLSR, em que, em todos os cenários com tempo de 1000s o atraso foi maior independente do tamanho do mapa. No entanto, nos cenários de tamanho intermediário os valores de atraso tendem a crescer quando há um aumento do número de nós. A Figura 5.11d apresenta uma diferença grande entre os tempo de simulação. Os menores valores de atraso ocorrem quando o tempo de simulação foi de 50s.

Figura 5.11: Comparativo do atraso dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.



A partir da mudança dos mapas, foi feita também a comparação do *overhead* entre os protocolos de roteamento, conforme a Figura 5.12. No cenário utilizando o tipo de mapa grande, o protocolo GPSR obteve os maiores valores da taxa de *overhead* quando haviam 50 e 100 nós, porém quando houve a inserção de 150 nós na rede, o protocolo OLSR obteve os maiores valores com o tempo de simulação de 50s (Figura 5.12a), de acordo com os demais resultados obtidos nas hipóteses anteriores. Entretanto, na Figura 5.12b os valores da taxa de

overhead do protocolo OLSR foram superiores. A Tabela 5.4 mostra a variação dos valores em cada cenário, segundo a média e o desvio padrão.

Figura 5.12: Comparativo do *overhead* dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.

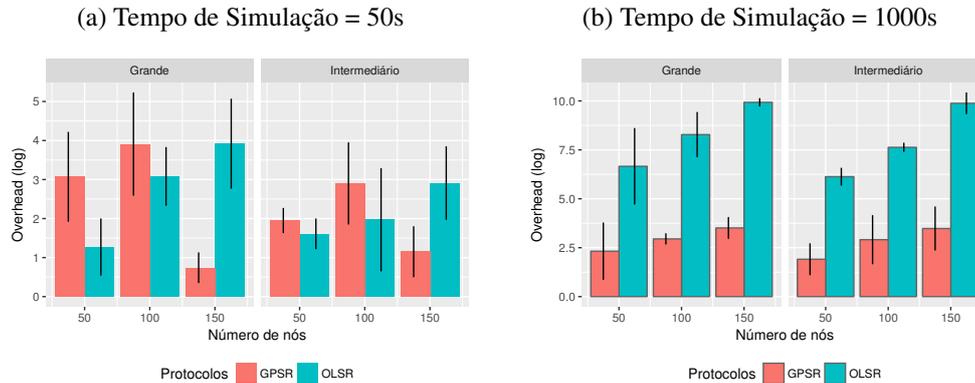


Tabela 5.4: Comparativo da métrica de *overhead* dos protocolos de roteamento no mapa intermediário e grande.

Protocolo	Tamanho	Qtde de Nós	Tempo de Simulação 50s		Tempo de Simulação 1000s	
			Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
OLSR	Grande	50	2,42	0,15	101,58	3,84
OLSR	Intermediário	50	1,53	0,19	70,25	1,37
OLSR	Grande	100	8,5	0,45	311,70	2,23
OLSR	Intermediário	100	3,94	0,20	198,95	1,18
OLSR	Grande	150	15,18	0,18	978,67	1,16
OLSR	Intermediário	150	7,54	0,13	942,84	1,47
GPSR	Grande	50	8,42	0,45	5,01	2,77
GPSR	Intermediário	50	3,87	0,20	3,77	0,57
GPSR	Grande	100	15,11	0,19	7,74	0,82
GPSR	Intermediário	100	7,47	0,12	7,52	0,42
GPSR	Grande	150	1,68	0,19	11,41	0,68
GPSR	Intermediário	150	0,45	0,01	11,22	0,46

5.2 Conclusão

Neste capítulo foram discutidos os resultados da pesquisa, a partir das hipóteses e métricas levantadas, sobre a importância da escolha dos parâmetros de simulação ao comparar os protocolos de roteamento OLSR e GPSR. Identificou-se a influência dos parâmetros tipo de mapa, velocidade dos veículos, quantidade dos nós e tempo de simulação, corroborando o que era esperado ao longo dessa etapa. Na comparação dos dois protocolos de roteamento, o protocolo OLSR apresentou valores altos de atraso, enquanto o GPSR apresentou valores baixos. A alta carga de mensagens dos protocolos proativos também impõe problemas de escalabilidade, à medida que a rede cresce, os nós emitem mais mensagens.

Capítulo 6

Conclusão e Sugestão para Trabalhos Futuros

Devido às características peculiares das redes veiculares, tais como a dinamicidade da rede, a conectividade da rede e a mobilidade do nós, o roteamento torna-se uma tarefa desafiadora. Além disto, a escolha dos parâmetros e ambiente de simulação são fatores primordiais diante de simulações em redes veiculares. Neste contexto, o principal objetivo desse trabalho foi analisar a influência dos parâmetros de simulação em redes veiculares e o desempenho dos protocolos de roteamento já existentes na literatura alterando os parâmetros de simulação. Os resultados dessa análise apresentam diretrizes para projetistas de redes que desejam simular esses ambientes de forma eficaz em cenários real e sintético presentes nas redes veiculares.

6.1 Contribuições

Para que o objetivo principal desse trabalho fosse alcançado, foi necessário fazer um estudo prévio sobre as redes veiculares de forma mais ampla. Inicialmente, foram definidos nesse estudo algumas das conferências e periódicos na área, tais como: VTC, MobiCom, MobiHoc e IEEE TMC.

Os resultados apresentados no Capítulo 3 foram publicados no periódico CCR (*Computer Communication Review*) da ACM SIGCOMM (*Special Interest Group on Data Communication*), qualis B1, na edição de Abril deste ano [98], [101].

A CCR é uma publicação online da ACM SIGCOMM e publica artigos sobre tópicos

dentro de uma área de interesse. Artigos técnicos aceitos no CCR tipicamente relatam avanços práticos ou aplicações práticas de avanços teóricos. O foco do periódico está na divulgação oportuna de novas ideias que podem ajudar a desencadear investigações adicionais. Os trabalhos aceitos para publicação são acessíveis através do CCR Online e da Biblioteca Digital ACM [102].

6.2 Conclusões

No presente trabalho, analisou-se a influência dos parâmetros de simulação em redes veiculares a partir dos protocolos de roteamento GPSR e OLSR. Primeiramente, no Capítulo 2 foi feita uma análise dos principais conceitos nesta área de VANET, tais como: tipos e classificação dos protocolos de roteamento, modelos de mobilidade e ambientes.

Esta análise diferencia-se de outras, pois baseia-se em um estudo feito sobre as principais condições e parâmetros utilizados na configurações dos cenários (e.g., tempo de simulação, números de nós, protocolos de roteamento, modelos de mobilidade, etc) dos últimos 11 anos, conforme foi apresentado no Capítulo 3. Dessa forma, o conhecimento prévio dos parâmetros na simulação em cada cenário possibilitou uma análise mais realista com a literatura encontrada em periódicos e conferências atuais nessa área de pesquisa.

No Capítulo 4 foram apresentadas as ferramentas utilizadas nas simulações (OMNeT++ e VanetMobiSim), o ambiente real (trecho em Campina Grande - PB) e sintético em forma de grade. Assim, as variações de parâmetros possibilitou uma análise mais detalhada do desempenho dos protocolos de roteamento GPSR e OLSR em vários cenários, o qual influencia diretamente em métricas como taxa de entrega de pacotes, atraso fim a fim e *overhead*.

No Capítulo 5, a comparação entre os protocolos de roteamento GPSR e OLSR resultou em diferenças significativas. A taxa de entrega dos pacotes do protocolo OLSR foi superior ao GPSR na maioria dos cenários. Uma razão para que o protocolo GPSR tenha obtido resultados de forma crescente é o fato de que no seu funcionamento a procura para eleger o nó de destino é feita pelo mais próximo, e devido ao tamanho do mapa intermediário ser menor à medida que cresce o número de nós a taxa aumenta. Diferentemente do OLSR que envia para um conjunto de nós vizinhos situados a dois saltos de distância para chegar ao seu destino com retransmissores multiponto. O protocolo GPSR apresentou menores valores

de atraso em comparação com o protocolo OLSR. O protocolo OLSR obteve os maiores valores de sobrecarga, pois tendem a gerar uma alta carga de mensagens de roteamento, e os nós continuamente emitem mensagens, mesmo quando não participam da comunicação.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

No decorrer desta dissertação, foram identificadas algumas questões que ainda necessitam ser aprofundadas e solucionadas. A partir da análise dos resultados deste trabalho, foi possível listar algumas sugestões para trabalhos futuros.

- Considerar não apenas os traços gerados por *software*, mas também aqueles coletados em cenários reais e que se encontram disponíveis em repositórios como o CRAWDAD [103]. O CRAWDAD é um recurso de dados de rede sem fio para a comunidade de pesquisa. Sua finalidade é armazenar dados de rastreamento sem fio de muitos locais para desenvolver melhores ferramentas de coleta e análise de dados [104].
- Estender a análise realizada na simulação deste trabalho incluindo outros ambientes, que podem ser: urbano, rodoviário e rural, tendo como finalidade verificar possíveis mudanças no desempenho de protocolos de roteamento; e
- Desenvolver um protocolo de roteamento que leve em consideração os resultados mais significativos dos protocolos GPSR e OLSR destacadas neste trabalho ao aplicar a ciência da mobilidade e comparar com outros protocolos da mesma topologia (e.g., proativo, reativo e híbrido).

Bibliografia

- [1] Hannes Hartenstein and LP Laberteaux. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications magazine*, 46(6), 2008.
- [2] OICA. Organisation internationale des constructeurs d’automobiles. <http://www.sindipecas.org.br/home/>. Acessado em 23 de Agosto de 2017.
- [3] Denatran. Departamento nacional de trânsito. <http://www.denatran.gov.br/>. Acessado em 23 de Agosto de 2017.
- [4] Sindipeças. Sindicato nacional da indústria de componentes para veículos automotores. <http://www.oica.net/>. Acessado em 23 de Agosto de 2017.
- [5] Felipe Cunha, Leandro Villas, Azzedine Boukerche, Aline Viana, Raquel Mini, and Antonio Loureiro. Data communication in vanets: survey, applications and challenges. *Ad Hoc Netw*, 44:90–103, 2016.
- [6] Po-Yu Chen, Je-Wei Liu, and Wen-Tsuen Chen. A fuel-saving and pollution-reducing dynamic taxi-sharing protocol in vanets. In *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd*, pages 1–5. IEEE, 2010.
- [7] Qiben Yan, Ming Li, Zhenyu Yang, Wenjing Lou, and Hongqiang Zhai. Throughput analysis of cooperative mobile content distribution in vehicular network using symbol level network coding. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(2):484–492, 2012.
- [8] Mohammad Al-Rabayah and Robert Malaney. A new hybrid location-based ad hoc routing protocol. In *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE*, pages 1–6. IEEE, 2010.

- [9] Ghayet el mouna Zhioua, Nabil Tabbane, Houda Labiod, and Sami Tabbane. A fuzzy multi-metric qos-balancing gateway selection algorithm in a clustered vanet to lte advanced hybrid cellular network. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(2):804–817, 2015.
- [10] Rafael dos S Alves, Igor do V Campbell, Rodrigo de S Couto, Miguel Elias M Campista, Igor M Moraes, Marcelo G Rubinstein, Luis Henrique MK Costa, Otto Carlos MB Duarte, and Michel Abdalla. Redes veiculares: Principios, aplicaçoes e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2009.
- [11] Inovação Tecnológica. Redes veiculares inteligentes diminuem congestionamentos e acidentes. <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=redes-veiculares-inteligentes&id=010170121102#.WL1xm5TavQo>. Acessado em 10 de Fevereiro de 2017.
- [12] Wantanee Viriyasitavat, Ozan K Tonguz, and Fan Bai. Network connectivity of vanets in urban areas. In *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2009. SECON'09. 6th Annual IEEE Communications Society Conference on*, pages 1–9. IEEE, 2009.
- [13] Amit Dua, Neeraj Kumar, and Seema Bawa. A systematic review on routing protocols for vehicular ad hoc networks. *Vehicular Communications*, 1(1):33–52, 2014.
- [14] Guangyu Li, Lila Boukhatem, and Jinsong Wu. Adaptive quality of service based routing for vehicular ad hoc networks with ant colony optimization. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2016.
- [15] Bruno Góis Mateus. *Análise sobre o impacto da densidade veicular, da carga da rede e da mobilidade no desempenho de protocolos de roteamento para redes veiculares*. PhD thesis, Universidade Federal do Ceará, 2010.
- [16] Zhigang Jin, Ningxiao Yan, and Bing Li. Reliable on-demand geographic routing protocol resolving network disconnection for vanet. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2009.

- [17] Dan Lin, Jian Kang, Anna Squicciarini, Yingjie Wu, Sashi Gurung, and Ozan Tonguz. Mozo: A moving zone based routing protocol using pure v2v communication in vanets. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(5):1357–1370, 2017.
- [18] Mate Boban, Geoff Misk, and Ozan K Tonguz. What is the best achievable qos for unicast routing in vanets? In *GLOBECOM Workshops, 2008 IEEE*, pages 1–10. IEEE, 2008.
- [19] Zhang Guoqing, Mu Dejun, Xu Zhong, Yang Weili, and Cai Xiaoyan. A survey on the routing schemes of urban vehicular ad hoc networks. In *Control Conference, 2008. CCC 2008. 27th Chinese*, pages 338–343. IEEE, 2008.
- [20] Joanne Skiles. *Adaptive Routing Protocols for VANET*. PhD thesis, Florida Atlantic University, 2017.
- [21] Subir Kumar Sarkar, TG Basavaraju, and C Puttamadappa. *Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications*. CRC Press, 2007.
- [22] José Athayde Torres Costa Neto. *Análise de Protocolos de Roteamento Unicast em Redes Ad Hoc Móveis Baseada em um Modelo Realístico de Bateria*. PhD thesis, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, 2011.
- [23] Philippe Jacquet, Paul Muhlethaler, Thomas Clausen, Anis Laouiti, Amir Qayyum, and Laurent Viennot. Optimized link state routing protocol for ad hoc networks. In *Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International*, pages 62–68. IEEE, 2001.
- [24] Bijan Paul, Md Ibrahim, Md Bikas, and Abu Naser. Vanet routing protocols: Pros and cons. *International Journal of Computer Applications*, 20(3), 2011.
- [25] Elizabeth M Royer and Chai-Keong Toh. A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks. *IEEE personal communications*, 6(2):46–55, 1999.
- [26] Charles E Perkins and Pravin Bhagwat. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers. In *ACM SIGCOMM computer communication review*, volume 24, pages 234–244. ACM, 1994.

-
- [27] T Clausen, A Laouiti, and L Viennot. Optimized link state routing protocol. In *Proceedings of IEEE INMIC*, pages 62–68, 2001.
- [28] Elmano Ramalho Cavalcanti. *Aplicabilidade de Métricas de Mobilidade em Redes ad hoc Móveis*. PhD thesis, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, 2014.
- [29] Mehran Abolhasan, Tadeusz Wysocki, and Eryk Dutkiewicz. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. *Ad hoc networks*, 2(1):1–22, 2004.
- [30] DB JONSON. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR). *Internet Draft*, 2003.
- [31] Vincent Douglas Park and M Scott Corson. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks. In *INFOCOM'97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution., Proceedings IEEE*, volume 3, pages 1405–1413. IEEE, 1997.
- [32] Zygmunt J Haas. A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks. In *Universal Personal Communications Record, 1997. Conference Record., 1997 IEEE 6th International Conference on*, volume 2, pages 562–566. IEEE, 1997.
- [33] Nupur Soni, Shikha Tiwari, et al. Survey of various protocols in geographical based routing in vehicular adhoc networks. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 2(3):357–366, 2013.
- [34] Brad Karp and Hsiang-Tsung Kung. Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 243–254. ACM, 2000.
- [35] Lili Hu, Zhizhong Ding, and Huijing Shi. An improved gpsr routing strategy in vanet. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2012 8th International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2012.
- [36] Daniel F Macedo, Pedro F Macedo, Luiz HA Correia, AL Santos, Antonio AF Loureiro, and José Marcos S Nogueira. Um protocolo de roteamento para redes ad hoc com qos baseado no controle da potência de transmissão. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, volume 24, pages 605–620, 2006.

- [37] Stephan Olariu and Michele C Weigle. *Vehicular networks: from theory to practice*. Chapman and Hall/CRC, 2009.
- [38] Jerome Harri, Fethi Filali, and Christian Bonnet. Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(4), 2009.
- [39] Marco Fiore, Jerome Harri, Fethi Filali, and Christian Bonnet. Vehicular mobility simulation for vanets. In *Simulation Symposium, 2007. ANSS'07. 40th Annual*, pages 301–309. IEEE, 2007.
- [40] Sara Najafzadeh, Norafida Binti Ithnin, and Shukor Abd Razak. Broadcasting in connected and fragmented vehicular ad hoc networks. *International Journal of Vehicular Technology*, 2014, 2014.
- [41] Wikimedia. Via para a zona rural de Paratinga. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Via_para_a_zona_rural_de_Paratinga,_junho_de_2016.jpg. Acessado em 12 de Setembro de 2017.
- [42] Wikimedia. Avenida Aliomar Baleeiro (Estrada Velha do Aeroporto). Trecho Rural. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avenida_Aliomar_Baleeiro_\(Estrada_Velha_do_Aeroporto\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avenida_Aliomar_Baleeiro_(Estrada_Velha_do_Aeroporto).jpg). Acessado em 12 de Setembro de 2017.
- [43] Wikimedia. Avenida paulista. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Av_Paulista6.jpg. Acessado em 12 de Setembro de 2017.
- [44] Wikimedia. Avenida paulista. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avenida_Paulista_33.jpg. Acessado em 12 de Setembro de 2017.
- [45] Wikipedia. Trecho da BR-101 na divisa entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. <https://pt.wikipedia.org/wiki/BR-101>. Acessado em 12 de Setembro de 2017.

- [46] Wikimedia. BR-230-PB Trecho na Paraíba. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BR-230-PB_-_Trecho_duplicado_na_Para%C3%ADba.jpg. Acessado em 12 de Setembro de 2017.
- [47] Marco Antonio Betini Pereira. *Análise de Modelos de Propagação da Região de Curitiba na Faixa de Frequência de 1800 MHz*. PhD thesis, Universidade Federal do Paraná, 2007.
- [48] William Felix Angeles Galván et al. Estudo do impacto dos modelos de propagação no desempenho de protocolos ad hoc em um ambiente vanet urbano. Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- [49] Theodore S Rappaport. Wireless communications—principles and practice, (the book end). *Microwave Journal*, 45(12):128–129, 2002.
- [50] Xi Yu, Huaqun Guo, and Wai-Choong Wong. A reliable routing protocol for vanet communications. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International*, pages 1748–1753. IEEE, 2011.
- [51] Ion Turcanu, Pierpaolo Salvo, Andrea Baiocchi, and Francesca Cuomo. An integrated VANET-based data dissemination and collection protocol for complex urban scenarios. *Elsevier Ad Hoc Networks*, July 2016.
- [52] Ibrahim Rashdan, Fabian Ponte Müller, and Stephan Sand. Performance evaluation of traffic information dissemination protocols for dynamic route planning application in vanets. 2016.
- [53] J. Skiles and I. Mahgoub. A geographical hybrid solution for inter-vehicular communication in vanet. In *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pages 250–255, Sept 2016.
- [54] Elmano Ramalho Cavalcanti and Marco Aurélio Spohn. Enhancing olsr protocol performance through improved detection of spatial dependence. In *Computers and Communication (ISCC), 2014 IEEE Symposium on*, pages 1–6. IEEE, 2014.

-
- [55] Nabeel Akhtar, Sinem Coleri Ergen, and Oznur Ozkasap. Vehicle mobility and communication channel models for realistic and efficient highway vanet simulation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(1):248–262, 2015.
- [56] Todd R Andel and Alec Yasinsac. On the credibility of manet simulations. *Computer*, 39(7):48–54, 2006.
- [57] Nurul I Sarkar and Jairo A Gutiérrez. Revisiting the issue of the credibility of simulation studies in telecommunication networks: highlighting the results of a comprehensive survey of ieeec publications. *IEEE Communications Magazine*, 52(5):218–224, 2014.
- [58] Stuart Kurkowski, Tracy Camp, and Michael Colagrosso. Manet simulation studies: the incredibles. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 9(4):50–61, 2005.
- [59] Krzysztof Pawlikowski, H-DJ Jeong, and J-SR Lee. On credibility of simulation studies of telecommunication networks. *IEEE Communications magazine*, 40(1):132–139, 2002.
- [60] David Kotz, Calvin Newport, Robert S Gray, Jason Liu, Yougu Yuan, and Chip Elliott. Experimental evaluation of wireless simulation assumptions. In *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 78–82. ACM, 2004.
- [61] Figshare. Survey on VANETs’ publications (2007 to 2017). <https://figshare.com/s/c5e5c891475206981810>. Acessado em 13 de Novembro de 2017.
- [62] Rupendra Nath Mitra and Dharma P Agrawal. 5g mobile technology: A survey. *ICT Express*, 1(3):132–137, 2015.
- [63] JiuJun Cheng, JunLu Cheng, MengChu Zhou, FuQiang Liu, ShangCe Gao, and Cong Liu. Routing in internet of vehicles: A review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(5):2339–2352, 2015.

- [64] Uichin Lee, Ryan Cheung, and Mario Gerla. Emerging vehicular applications. In Stephan Olariu and Michele C. Weigle, editors, *Vehicular Networks: From Theory to Practice*, chapter 6, pages 1–26. Chapman and Hall/CRC", 2009.
- [65] Michal Piorowski, Maxim Raya, A Lezama Lugo, Panagiotis Papadimitratos, Matthias Grossglauser, and J-P Hubaux. Trans: realistic joint traffic and network simulator for vanets. *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, 12(1):31–33, 2008.
- [66] Kumiko Maeda, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Keiichi Yasumoto, and Teruo Higashino Higashino. Mobireal: scenario generation and toolset for manet simulation with realistic node mobility. In *Mobile Data Management, 2006. MDM 2006. 7th International Conference on*, pages 55–55. IEEE, 2006.
- [67] Christoph Sommer, Reinhard German, and Falko Dressler. Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(1):3–15, January 2011.
- [68] SY Wang, CL Chou, YH Chiu, YS Tzeng, MS Hsu, YW Cheng, WL Liu, and TW Ho. Nctuns 4.0: An integrated simulation platform for vehicular traffic, communication, and network researches. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, pages 2081–2085. IEEE, 2007.
- [69] Thomas R Henderson, Mathieu Lacage, George F Riley, C Dowell, and J Kopena. Network simulations with the ns-3 simulator. *SIGCOMM demonstration*, 14(14):527, 2008.
- [70] OMNeT++. Objective Modular Network Testbed in C++. <https://omnetpp.org>. Acessado em 30 de Agosto de 2017.
- [71] Rahul Mangharam, Daniel Weller, Raj Rajkumar, Priyantha Mudalige, and Fan Bai. Groovenet: A hybrid simulator for vehicle-to-vehicle networks. In *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2006 Third Annual International Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2006.

- [72] SUMO. Institute of Transportation Systems (DLR): SUMO – Simulation of Urban MObility. http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/. Acessado em 30 de Agosto de 2017.
- [73] Vanetmobisim. <http://vanet.eurecom.fr/>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2017.
- [74] Feliz Kristianto Karnadi, Zhi Hai Mo, and Kun-chan Lan. Rapid generation of realistic mobility models for vanet. In *Wireless communications and networking conference, 2007. WCNC 2007. IEEE*, pages 2506–2511. IEEE, 2007.
- [75] Francisco J Martinez, J-C Cano, Carlos T Calafate, and Pietro Manzoni. Citymob: a mobility model pattern generator for vanets. In *Communications Workshops, 2008. ICC Workshops' 08. IEEE International Conference on*, pages 370–374. IEEE, 2008.
- [76] Eugenio Giordano, Enzo De Sena, Giovanni Pau, and Mario Gerla. Vergilius: A scenario generator for vanet. In *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010 IEEE 71st*, pages 1–5. IEEE, 2010.
- [77] Jérôme Härrri, Fethi Filali, Christian Bonnet, and Marco Fiore. Vanetmobisim: generating realistic mobility patterns for vanets. In *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pages 96–97. ACM, 2006.
- [78] Francisco J Martinez, Chai Keong Toh, Juan-Carlos Cano, Carlos T Calafate, and Pietro Manzoni. A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (vanets). *Wireless Communications and Mobile Computing*, 11(7):813–828, 2011.
- [79] Adelinde M Uhrmacher, Sally Brailsford, Jason Liu, Markus Rabe, and Andreas Tolk. Panel - reproducible research in discrete event simulation - a must or rather a maybe? In *Winter Simulation Conference (WSC), 2016*, pages 1301–1315. IEEE, 2016.
- [80] Christian Collberg and Todd A. Proebsting. Repeatability in computer systems research. *Commun. ACM*, 59(3):62–69, February 2016.

- [81] Heinz Pampel, Paul Vierkant, Frank Scholze, Roland Bertelmann, Maxi Kindling, Jens Klump, Hans-Jürgen Goebelbecker, Jens Gundlach, Peter Schirmbacher, and Uwe Dierolf. Making research data repositories visible: The re3data. org registry. *PloS one*, 8(11):e78080, 2013.
- [82] VEINS. Vehicles in Network Simulation. <http://veins.car2x.org/>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2017.
- [83] Mario De Felice, Eduardo Cerqueira, Adalberto Melo, Mario Gerla, Francesca Cuomo, and Andrea Baiocchi. A distributed beaconless routing protocol for real-time video dissemination in multimedia vanets. *Computer Communications*, 58:40–52, 2015.
- [84] Maazen Alsabaan, Waleed Alasmay, Abdurhman Albasir, and Kshirasagar Naik. Vehicular networks for a greener environment: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(3):1372–1388, 2013.
- [85] Mordechai Haklay and Patrick Weber. Openstreetmap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7(4):12–18, 2008.
- [86] Mate Boban, Tiago TV Vinhoza, Michel Ferreira, Joao Barros, and Ozan K Tonguz. Impact of vehicles as obstacles in vehicular ad hoc networks. *IEEE journal on selected areas in communications*, 29(1):15–28, 2011.
- [87] Mario Gerla and Leonard Kleinrock. Vehicular networks and the future of the mobile internet. *Computer Networks*, 55(2):457–469, 2011.
- [88] Ricardo Mühlbauer. Estudos de confiança e reputação em redes ad hoc veiculares (vanets). *Universidade Federal do ABC, Santo André*, 2014.
- [89] HARRI J. et al. VanetMobiSim. <https://vanetmobisim.sourceforge.net/>. Acessado em 01 de Agosto de 2016.
- [90] INET Framework. What Is INET Framework? <https://inet.omnetpp.org/Introduction.html>. Acessado em 01 de Setembro de 2017.

-
- [101] ACM DIGITAL LIBRARY. Vanets' research over the past decade: overview, credibility, and trends. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3213237>. Acessado em 07 de Julho de 2018.
- [102] ACM SIGCOMM. Computer communication review. <https://www.sigcomm.org/publications/computer-communication-review>. Acessado em 15 de Outubro de 2017.
- [103] David Kotz and Tristan Henderson. Crawdad: A community resource for archiving wireless data at dartmouth. *IEEE Pervasive Computing*, 4(4):12–14, 2005.
- [104] CRAWDAD. A community resource for archiving wireless data at dartmouth. <https://crawdad.org/>. Acessado em 01 de Junho de 2018.