



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

JOAHANNES BRUNO DIAS DA COSTA

**DISSEMINAÇÃO DE DADOS BASEADA EM MÉTRICAS
DE REDES COMPLEXAS PARA SISTEMAS DE
TRANSPORTE INTELIGENTES**

BELÉM - PA

2018

JOAHANNES BRUNO DIAS DA COSTA

**DISSEMINAÇÃO DE DADOS BASEADA EM MÉTRICAS
DE REDES COMPLEXAS PARA SISTEMAS DE
TRANSPORTE INTELIGENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Dr. Eduardo Coelho Cerqueira

Coorientador: Dr. Denis Lima do Rosário

BELÉM - PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

- C837d Costa, Joahannes Bruno Dias da
 Disseminação de Dados baseada em métricas de Redes Complexas para Sistemas de Transporte Inteligentes / Joahannes Bruno Dias da Costa. — 2018.
 68 f. : il. color
- Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém - PA, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
 Coorientação: Prof. Dr. Denis Lima do Rosário.
1. Sistemas de Transporte Inteligentes. 2. Disseminação de Dados. 3. Grafos.
 I. Cerqueira, Eduardo Coelho, *orient.* II. Título


CDD 004.65

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JOAHANNES BRUNO DIAS DA COSTA

**DISSEMINAÇÃO DE DADOS BASEADA EM MÉTRICAS DE REDES
COMPLEXAS PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE**


Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, defendida e aprovada em 23/02/2018, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:



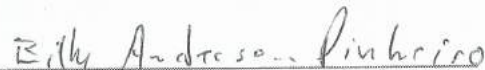
Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
Orientador – PPGCC/UFPA



Prof. Dr. Denis Lima do Rosário
Coorientador – PPGCC/UFPA



Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo
Membro Externo – ITEC/UFPA



Pesq. Dr. Billy Anderson Pinheiro
Membro Externo – UFPA



Prof. Dr. Leandro Aparecido Villas
Membro Externo – IC/UNICAMP

Visto:



Prof. Dr. Bianchi Serique Meiguins
Coordenador do PPGCC/UFPA

Dedico este trabalho à minha família.

Agradecimentos

A Deus.

Aos meus amores Juliana e Maria Íris por todo amor e apoio na conclusão desta etapa. Obrigado pela paciência, pelo incentivo nos momentos mais difíceis e por entenderem meus momentos de ausência.

Aos meus pais, João e Lenita, por todo apoio para conclusão desta etapa tão sonhada por nós. Aos meus irmãos Anne, Milla e Gabriel, por todos os bons momentos vividos. Amo vocês!

A todos meus familiares. Em especial meus sobrinhos Guilherme, Nicole e Kir-lanzinho; minha avó Maria do Carmo; minhas tias Lili, Gercina e Lena; meu tio Kirlan e meu cunhado Wallace; minha sogra Socorro e meus cunhados Higor e Natália. Obrigado pelo apoio desde o início desta árdua jornada.

Ao meu orientador Eduardo Cerqueira pelo voto de confiança, por acreditar em meu potencial, por todas as conversas, por se empenhar em contribuir para meu crescimento e por me permitir passar os últimos 6 meses do mestrado na UNICAMP, período extremamente importante para a conclusão deste trabalho e que me deu outra visão sobre a academia. Agradeço ao meu coorientador Denis Rosário pela confiança, conversas, ensinamentos e paciência nos momentos de dúvida. Obrigado por tudo.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Redes de Computadores (GERCOM) Danilo, Hugo, Iago, Pedro, Lucas, Helder, Arnaldo, Hernan e gêmeos Fábio e Felipe, por todos os momentos vividos no laboratório e fora dele. Agradeço em especial ao grande amigo Wellington, que contribuiu bastante para a conclusão deste trabalho e por estar sempre disposto a me ajudar. Ao amigo Marcos Seruffo por ter me incentivado ao mestrado e colaborado com meu desenvolvimento acadêmico desde a graduação. Aos amigos Daniel e Arthur que estiveram presentes em boa parte desta jornada. Muito obrigado, pessoal.

Agradeço à todas pessoas que conheci em Campinas, em especial os amigos do

Laboratório de Redes de Computadores (LRC) por terem me acolhido muito bem. Obrigado por todo o tempo disponibilizado e por estarem sempre dispostos a esclarecer as dúvidas que não foram poucas.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de ingresso ao programa. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Obrigado a todos que acreditaram e torceram para a realização deste sonho.

*“Em planejamento, nunca uma
proposição inútil; Em estratégia,
nenhum passo dado em vão.”*

Sun Tzu

Resumo

Resumo da Dissertação apresentada à UFPA como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Eduardo Coelho Cerqueira

Coorientador: Denis Lima do Rosário

Palavras-chave: Sistemas de Transporte Inteligentes; Disseminação de Dados; Grafos.

Serviços que visam tornar o sistema de transporte atual mais seguro, sustentável e eficiente constituem o arcabouço conhecido como Sistemas de Transporte Inteligentes (ITSs). Pelo fato dos serviços necessitarem de dados, comunicação e processamento para operação, as Redes Veiculares (VANETs) exercem forte influência nesse contexto, por possibilitar comunicação direta entre os veículos e, adicionalmente, que dados sejam trocados e processados entre eles. Diversos serviços em ITSs requerem informações disseminadas entre os veículos para tomada de decisões. Contudo, essa disseminação é uma tarefa desafiadora, devido características específicas das VANETs, tais como, comunicação de curto alcance e alta mobilidade dos nós, resultando em variações constantes em sua topologia. Diante dos desafios, neste trabalho é apresentado um protocolo para disseminação de dados em cenários urbanos que considera métricas de redes complexas em seu funcionamento, denominado DDRX (Disseminação de Dados baseada em Métricas de Redes Complexas). O protocolo toma proveito dos *beacons* que são trocados periodicamente na rede para coletar informações dos veículos e assim construir um grafo de diâmetro 2 para análise topográfica local da rede, onde os vértices são veículos e as arestas os links de comunicação entre veículos vizinhos. Com o grafo local criado, é possível identificar os melhores veículos para continuarem o processo de disseminação. Resultados de simulações mostram que o DDRX oferece alta eficiência em termos de cobertura, número de transmissões, atraso e colisões de pacotes em comparação aos protocolos amplamente conhecidos de disseminação de dados. Complementarmente, o DDRX oferece melhorias significativas a um sistema de gerenciamento de trânsito distribuído que necessita das informações de trânsito disseminadas de forma eficiente, possibilitando que os veículos fiquem menos tempo em congestionamentos, atinjam maiores velocidades médias e tenham menor tempo de viagem.

Abstract

Abstract of Dissertation presented to UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Computer Science.

Advisor: Eduardo Coelho Cerqueira

Co-advisor: Denis Lima do Rosário

Key words: Intelligente Transportation Systems; Data Dissemination; Graphs.

Services that aim to make the current transportation system more secure, sustainable and efficient form the framework known as Intelligent Transportation Systems (ITSs). Due to the fact that the services require data, communication and processing for operation, Vehicle Ad Hoc Networks (VANETs) exert a strong influence in this context, since it allows direct communication between vehicles and, in addition, data are exchanged and processed between them. Several ITS services require disseminated information among decision-making vehicles. However, such dissemination is a challenging task, due to the specific characteristics of VANETs, such as short-range communication and high node mobility, resulting in constant variations in their topology. In view of the challenges, this paper presents a protocol for data dissemination in urban scenarios that consider complex network metrics in its operation, called DDRX (Data Dissemination based on Complex Network Metrics). The protocol takes advantage of the beacons that are periodically exchanged in the network to collect information from the vehicles and thus build a graph of diameter 2 for local topographic analysis of the network, where the vertices are vehicles and the edges the communication links between neighboring vehicles. With the local graph created, it is possible to identify the best vehicles to continue the dissemination process. Simulation results show that DDRX offers high efficiency in terms of coverage, the number of transmissions, delay, and packet collisions compared to widely known data dissemination protocols. In addition, DDRX offers significant improvements to a distributed traffic management system that needs the disseminated traffic information efficiently, allowing vehicles to spend less time congestion, achieve higher average speeds and have less travel time.

Sumário

1	Introdução	p. 17
1.1	Visão geral	p. 17
1.2	Motivação e desafios	p. 19
1.3	Objetivos	p. 20
1.4	Organização do texto	p. 21
2	Referencial Teórico	p. 22
2.1	Redes Veiculares Ad hoc (VANETs)	p. 22
2.1.1	Características	p. 23
2.2	Disseminação de Dados	p. 25
2.2.1	Métricas de avaliação	p. 26
2.3	Redes Complexas	p. 27
2.3.1	Métricas de centralidade	p. 28
2.3.1.1	Centralidade de Grau	p. 29
2.3.1.2	Centralidade de Intermediação	p. 30
2.4	Conclusões do capítulo	p. 31
3	Trabalhos Relacionados	p. 32
3.1	Acknowledged Broadcast from Static to highly Mobile (ABSM)	p. 32
3.2	Urban Vehicular broadCAST (UV-CAST)	p. 33

3.3	ALgoritmo Autônomo para Disseminação De INformações em Redes Veiculares (ALADDIN)	p. 33
3.4	Clustering Coefficient and node DEGREE (CC-DEGREE)	p. 34
3.5	Context-Aware Routing pROtocol (CARRO)	p. 34
3.6	Conclusões do capítulo	p. 35
4	Disseminação de Dados baseada em Métricas de Redes Complexas .	p. 37
4.1	Visão geral	p. 37
4.1.1	Conhecimento da vizinhança	p. 39
4.1.2	Seleção de retransmissores	p. 40
4.1.3	Funcionamento	p. 43
4.2	Conclusões do Capítulo	p. 45
5	Avaliação de desempenho	p. 46
5.1	Caso de uso I: Disseminação de Dados	p. 46
5.1.1	Descrição da simulação	p. 46
5.1.2	Resultados obtidos	p. 48
5.2	Caso de uso II: Sistema de Gerenciamento de Trânsito	p. 51
5.2.1	Descrição da simulação	p. 53
5.2.2	Resultados obtidos	p. 54
5.3	Conclusões do capítulo	p. 58
6	Conclusão	p. 59
6.1	Lista de publicações	p. 61
	Referências	p. 62

Lista de Abreviaturas

AoI	<i>Area of Interest</i>
DFS	<i>Depth-First-Search</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communications</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MANETs	<i>Mobile Ad hoc Networks</i>
OBU	<i>On-Board Unit</i>
RSU	<i>Roadside Unit</i>
SUMO	<i>Simulation of Urban MObility</i>
TMS	<i>Traffic Management Systems</i>
V2I	<i>Vehicle-to-Infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle-to-Vehicle</i>
V2X	<i>Vehicle-to-Everything</i>
VANETs	<i>Vehicular Ad hoc Networks</i>

Lista de Símbolos

G	Grafo contendo todos os veículos do cenário
$V(G)$	Conjunto de vértices do grafo G
$E(G)$	Conjunto de arestas do grafo G
v	Um veículo $\in V(G)$
p_{atual}	Posição atual composta pelas coordenadas x e y
id	Identificação única do veículo
N_v	Lista de vizinhos a 1 salto
$listaN_v$	Lista de vizinhos a 2 saltos
$G[E'_u]$	Subgrafo de G contendo apenas os veículos vizinhos a 1 e 2 saltos
$\phi(v)$	Função para identificação de vértices de corte do algoritmo de Tarjan
v_{corte}	Conjunto dos vértices de corte identificados
v_e	Veículo emissor
v_c	Veículo candidato à retransmissor

Lista de Figuras

Figura 1	Comunicação V2I	23
Figura 2	Comunicação V2V	24
Figura 3	Comunicação Híbrida ou V2X	24
Figura 4	Características distintas extraídas de uma mesma rede	27
Figura 5	Exemplo de rede para verificação da centralidade de grau	29
Figura 6	Exemplo de rede para verificação da centralidade de intermediação ...	30
Figura 7	Cenário de disseminação de dados em VANETs	38
Figura 8	Abstração gráfica do cenário de disseminação da Figura 7	39
Figura 9	Subgrafo induzido por arestas $G[E'_u]$	42
Figura 10	Zonas de Encaminhamento	42
Figura 11	Cenário do centro da cidade de Manhattan, Estados Unidos	47
Figura 12	Número de vértices de corte identificados no cenário	49

Figura 13	Porcentagem de cobertura atingida por cada protocolo	49
Figura 14	Número total de mensagens transmitidas	50
Figura 15	Atraso médio de entrega	51
Figura 16	Número total de colisões	52
Figura 17	Porcentagem de Cobertura	54
Figura 18	Número de Transmissões para Construção do Conhecimento de Trânsito	55
Figura 19	Número de Transmissões para Gerenciamento de Trânsito	55
Figura 20	Tempo Total de Viagem	56
Figura 21	Tempo em Congestionamento	57
Figura 22	Velocidade Média	57

Lista de Tabelas

Tabela 1	Características principais dos trabalhos relacionados	36
Tabela 2	Exemplo das informações contidas na $listaN_v$ do veículo v_1	40
Tabela 3	Parâmetros das simulações do Caso de Uso I	48
Tabela 4	Parâmetros das simulações do Caso de Uso II	53

CAPÍTULO 1

Introdução

Este capítulo introduz os conceitos sobre Redes Veiculares Ad hoc (*Vehicular Ad hoc Networks* - VANETs) por meio de uma visão geral sobre o tema. Levanta a discussão acerca da motivação para elaboração deste trabalho, ilustrando os principais desafios existentes para a construção de propostas a nível de disseminação de dados eficiente. Apresenta os objetivos que envolvem o trabalho, além de sumarizar as contribuições essenciais do mesmo. Por fim, apresenta o conteúdo dos próximos capítulos.

1.1 Visão geral

Pesquisas científicas em redes de computadores têm como objetivo maior prover a conectividade aos usuários independentemente do cenário que o mesmo esteja inserido. Técnicas vêm sendo desenvolvidas para que o acesso às aplicações seja realizado em situações críticas de conectividade e que todo o processo realizado seja totalmente transparente. Ou seja, manter o conforto do usuário ao consumir determinado conteúdo e manter a rede disponível para uso das outras aplicações são desafios que devem ser explorados cada vez mais, haja vista, a relação inversamente proporcional do aumento da quantidade de dispositivos conectados e a não expansão da infraestrutura de comunicação existente.

Inicialmente, surgiram as redes móveis não estruturadas (*Mobile Ad hoc Networks* - MANETs), onde um nó podia assumir funções tanto de sistema terminal quanto de encaminhador, não havendo necessidade de uma infraestrutura específica para a comunicação entre dois, ou mais, nós da rede. Com a possibilidade da inserção de sistemas dentro de veículos, equipados com capacidades de comunicação, surge uma nova abordagem que estende características das MANETs, denominada VANETs [1].

As VANETs são constituídas por veículos e possuem dois tipos de comunicação sem fio, o primeiro é chamado de Veículo-para-Veículo (V2V), onde os veículos se comunicam de forma direta entre si, não havendo necessidade de uma infraestrutura externa para isso, como um ponto de acesso por exemplo. A segunda é a Veículo-para-Infraestrutura (V2I), faz uso de uma infraestrutura externa de apoio, podendo ser as chamadas Unidade de Acostamento (*Roadside Unit* - RSU) ou a infraestrutura de rede LTE (*Long Term Evolution*). Existem cenários onde se enxerga a necessidade de utilização de ambos os tipos, formando assim uma comunicação veicular híbrida [2]. Atualmente, com o advento de Internet das Coisas, se fala em uma comunicação Veículo-para-QualquerCoisa (V2X), onde as pesquisas vêm sendo desenvolvidas para comunicação entre veículo e os mais diversos dispositivos conectados [3, 4].

A exploração das VANETs se mostra bem desenvolvida, tanto que possui um espectro próprio do DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), que é uma faixa de frequência para comunicações de curto alcance de forma ad-hoc para ser usado nas comunicações do cenário veicular. Utiliza o padrão IEEE 802.11p como interface de rede sem fio, tendo alcance de centenas de metros e taxa de transferência de até 27 Mbits/s [5]. É importante ressaltar que as redes celulares LTE também podem ser utilizadas para expansão de capacidade da comunicação veicular. Essa possibilidade de comunicação foi pensada, inicialmente, para aplicações de segurança, que alocam determinado espectro de propagação, porém, isso foi se expandido e outras categorias de aplicações são suportadas.

As aplicações em VANETs podem ser classificadas em três categorias: (i) segurança, que possibilita ao condutor receber avisos sobre as condições da pista, acidentes e avisos sobre eventos que possam impactar em sem bem estar ao volante; (ii) entretenimento, onde a maioria das aplicações estão associadas ao acesso e uso da Internet no interior do veículo; e (iii) assistência ao motorista, focadas em automatizar determinadas tarefas, como por exemplo localização de postos de combustível, áreas de serviços e informações turísticas [6, 7, 8].

Cada uma das aplicações possuem requisitos de operação bem delimitados e distintos, como por exemplo as aplicações de segurança necessitam de alta velocidade de propagação das informações, ou seja, baixo atraso de entrega. Aplicações de entretenimento e de assistência ao motorista já necessitam de maior largura de banda, pelo fato do conteúdo, em muitas das vezes, ser multimídia (imagem, áudio e/ou vídeo) e demandar que mínimos níveis de qualidade sejam atingidos para que o conteúdo possa ser consumido.

Em especial, aplicações denominadas de Sistemas de Gerenciamento de Tráfego (*Traffic Management Systems* - TMS) necessitam de dados que descrevam os padrões de tráfego, tais como, densidade, velocidade, tempo de viagem e posição geográfica dos veículos [9]. Tais informações devem ser disseminadas na VANET para serem entregues ao TMS, o qual realiza a administração do fluxo de veículos para mitigar problemas como acidentes causados por congestionamentos e danos ambientais causados por altas taxas de emissões de gases poluentes, por exemplo [10, 11].

No entanto, a disseminação de dados de forma eficiente com baixo *overhead*¹, e atraso, bem como alta cobertura não é uma tarefa trivial nos diferentes cenários. Isso se dá por conta das características das VANETs, uma vez que possuem uma densidade dinâmica, falhas na comunicação V2V devido a sua alta mobilidade, além da comunicação de curto alcance [12].

1.2 Motivação e desafios

Disseminação de dados VANETs não é uma tarefa simples, devido suas características peculiares [13]. Alguns aspectos devem ser levados em consideração para configuração de técnicas para disseminação de dados nesse tipo de rede. A topologia altamente dinâmica, com nós podendo alcançar velocidades altas, fazem com que a estrutura topológica da rede seja modificada rapidamente em diferentes instantes de tempo [14]. As conexões intermitentes são resultado da propagação dos sinais, suas reflexões e atenuações em diferentes meios, trazendo assim, condições adversas de transmissão onde nós podem estar isolados ou componentes de rede com conectividade intermitente.

A distribuição dos nós na rede varia conforme sua mobilidade, então diferentes níveis de densidade também devem ser observados com cautela, bem como o tipo de via que o veículo trafega (rodoviária, urbana ou rural) para se pensar nas diferentes soluções e equipamentos que se podem ter disponível em cada um desses cenários [15]. É importante frisar que nós veiculares não sofrem com recursos limitados de energia e armazenamento, em relação a outros tipos redes móveis. Porém, o meio de transmissão das mensagens é limitado e compartilhado, sendo um ponto chave de otimização para seu uso eficiente [16].

O curto intervalo de tempo que os nós da rede ficam em contato uns com os outros é um sério problema para disseminação de dados, o que muitas vezes impede o recebimento de um conteúdo com qualidade pelos veículos [17]. Desse modo, propor soluções para disseminação que aumentem de maneira significativa as chances de recebimento de mensagens de dados é de suma importância para a consolidação desse tipo de rede e serviço.

Dessa forma, entender como se dá a dinâmica de comunicação dessas redes é importante para aumento da sua capacidade de entrega. Sendo assim, este trabalho propõe um protocolo que busca aumentar as chances de entrega de mensagens de dados em VANETs com a utilização de uma análise topológica local em um subgrafo induzido por arestas a partir das informações de vizinhança dos veículos. Conforme especificado por Lee et al. [7], todo e qualquer conteúdo possui um Interesse Local (são os principais interessados em consumir aquele conteúdo, baseado em sua referência geográfica), Validade Local (o conteúdo só tem validade para uma área geográfica bem específica) e Tempo de Vida (o tempo que o conteúdo ficará disponível para consumo). Então, é importante garantir a entrega das mensagens para os veículos interessados em consumi-la.

¹Que para esse cenário se refere ao número de transmissões realizados na rede.

1.3 Objetivos

Esta dissertação de mestrado apresenta um protocolo para disseminação de dados baseada em métricas de redes complexas em VANETs, denominado de DDRX. O protocolo provê altas taxas de cobertura, baixo atraso de entrega, baixo número de colisões de pacotes na camada MAC e insere baixo *overhead* na rede com sua operação, não comprometendo o canal que é naturalmente compartilhado. Utiliza métricas de redes complexas para seleção dos melhores nós para executarem a retransmissão da mensagem de dados. Uma função é definida para ranquear os veículos candidatos à retransmissores em cada uma das zonas de encaminhamentos que são definidas para a disseminação alcançar um maior número de veículos.

O protocolo DDRX (**D**isseminação de **D**ados baseada em **M**étricas de **R**edes comple**X**as) utiliza um algoritmo para identificar os vértices de corte em um subgrafo induzido por arestas criado a partir das informações de vizinhanças coletadas através da troca de *beacons* na rede, esse conhecimento de vizinhança se limita aos vizinhos a 1 e 2 saltos do veículo emissor da mensagem. Os vértices de corte representam os vértices que possuem maiores índices de centralidade de intermediação, ou seja, são ideais para direcionar a troca de informações na rede. Após identificação dos vértices de corte, há uma fase de desempate caso mais de um veículo candidato à retransmissor esteja em uma mesma zona de encaminhamento da mensagem. O desempate é realizado por meio de uma função chamada ganho de retransmissão, que leva em consideração índices de centralidade de grau e o posicionamento de cada veículo em relação ao raio de comunicação do veículo emissor. Isso busca garantir que a retransmissão da mensagem atinga um maior número de veículos com um menor número de saltos.

Assim, os objetivos deste trabalho incluem:

- Desenvolver um protocolo que garanta alta porcentagem de entrega das mensagens de dados, porém com um número mínimo de transmissões, baixo atraso de entrega e baixa ocorrência de colisões de pacotes na camada MAC.
- Utilizar conceitos de Teoria de Grafos e Redes Complexas para o protocolo selecionar os melhores veículos reencaminhadores das mensagens de dados.
- Implementar o protocolo proposto e avaliar seu desempenho através de casos de uso onde o mesmo opera tanto de forma isolada quanto em conjunto com uma aplicação que faz parte do arcabouço dos Sistemas de Transporte Inteligentes.

1.4 Organização do texto

O restante do documento está dividido seguindo o ordenamento descrito abaixo:

- Capítulo 2: Apresenta fundamentos sobre VANETs. São explanados conceitos de disseminação de dados em VANETs e quais métricas serão utilizadas na avaliação de desempenho do protocolo com base na literatura. Finaliza-se o capítulo com a conceituação de redes complexas, bem como as métricas que serão utilizadas no funcionamento do protocolo proposto e o quanto esse tipo de avaliação é importante quando se necessita conhecer a dinâmica de interação entre os nós da rede.
- Capítulo 3: Apresenta alguns protocolos de disseminação de dados existentes para cenários veiculares. São descritas as vantagens e desvantagens de cada uma dessas propostas.
- Capítulo 4: Detalha o protocolo DDRX. Apresenta como o conhecimento de vizinhança é construído e como esse conhecimento é utilizado para criação dos critérios que selecionam os veículos para retransmitirem a mensagem.
- Capítulo 5: Apresenta como o protocolo será avaliado, qual cenário urbano e quais métricas serão utilizados. Dois casos de uso são montados para analisar como o protocolo se comporta em diferentes situações e contextos. Apresentam-se também, os parâmetros que serão utilizados nas simulações, bem como o simulador e quais resultados foram obtidos nos experimentos realizados.
- Capítulo 6: Apresenta as conclusões obtidas a partir das análises realizadas, bem como apontamentos para o desenvolvimento de trabalhos futuros e a lista de publicações resultantes desta dissertação de mestrado.

CAPÍTULO 2

Referencial Teórico

Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos sobre Redes Veiculares, suas classificações e desafios enfrentados. Em seguida, entende-se como se dá a disseminação de dados em VANETs e como melhorias nesse sentido podem ser propostas. São citados os principais problemas enfrentados ao se disseminar dados em VANETs e como os autores propõem soluções para contorná-los. Por fim, o conceito de Redes Complexas é discutido, bem como algumas de suas métricas de avaliação e o quão importante uma avaliação nesse sentido se faz necessária em cenários que envolvem algum tipo de interação entre as partes e como essa interação pode ser modelada para extrair características importantes da rede.

2.1 Redes Veiculares Ad hoc (VANETs)

O desenvolvimento de novos serviços em prol do bem estar dos usuários vem aumentando nos últimos anos. Os dispositivos também seguem essa tendência e estão cada vez mais conectados à Internet e abrindo possibilidades para novas soluções e otimização das já existentes. Nesse contexto, os Sistemas de Transporte Inteligentes (*Intelligent Transportation Systems* - ITS) surgem para oferecer soluções robustas que atendam aos clientes de serviços de transporte, sejam aéreos, terrestres ou aquáticos [18].

Especificamente no que se refere ao transporte rodoviário, os ITSs para VANETs oferecem serviços com objetivo de alcançar maior segurança e mobilidade ao mesmo tempo que buscam reduzir os impactos ambientais causados pela utilização de veículos automotores. Existem serviços de semáforos inteligentes, serviços de pedágio, detecção de congestionamentos, serviços de alertas, dentre outros. Seus principais objetivos são: agilizar e gerenciar o tráfego de veículos, auxiliar os motoristas, garantir a segurança no trânsito e prover aplicações de interesse do usuário (tanto motoristas quanto passageiros) [19].

Dessa forma, as VANETs possibilitam os veículos: produzir e consumir uma grande quantidade de conteúdos, seguindo a propriedade de relevância local (tempo e espaço); buscar pelo conteúdo, independentemente de seus fornecedores; colaborar com a rede usando seus recursos para criação de serviços com ajuda mínima da infraestrutura de Internet [7].

2.1.1 Características

As redes *ad hoc* trouxeram um diferencial significativo para as comunicações de curto alcance. A possibilidade de manter conexões com diversos nós sem a presença de uma infraestrutura para gerenciamento dessa rede, aumenta a gama de soluções que podem ser pensadas para os mais diversos cenários. Ou seja, um nó pertencente a uma rede *ad hoc* possui interfaces sem fio que o permite trocar informações com outros nós, a rede tem autonomia para se autogerenciar.

Assim, as VANETs herdam essas características e podem funcionar em, basicamente, três tipos de comunicação. A infraestruturada, V2I, tendo a presença de pontos de acesso e *gateways* para fornecer acesso à Internet e roteamento para as transmissões. Os veículos se comunicam com essa infraestrutura para poder terem acesso ao serviço desejado, conforme ilustrado na Figura 1. Esse tipo de comunicação tem um alto custo de implantação e manutenção [2].

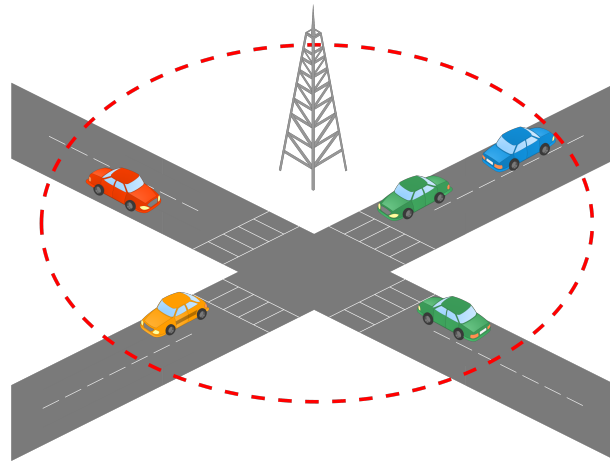


Figura 1: Comunicação V2I

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro tipo de comunicação é a *ad hoc*, ou V2V, onde todos os nós se comunicam diretamente entre si e desempenham o papel de roteadores para encaminhamento do tráfego através de múltiplos saltos entre uma origem e um destino, sendo possível por meio de um dispositivo de rede instalado nos veículos chamado OBU (*On-Board Unit*) que se conecta à rede sem fio DSRC [20]. A conectividade entre os nós depende da densidade da rede e de como os veículos estão se movimentando na via, o seu padrão de mobilidade. A Figura 2 ilustra a comunicação V2V.

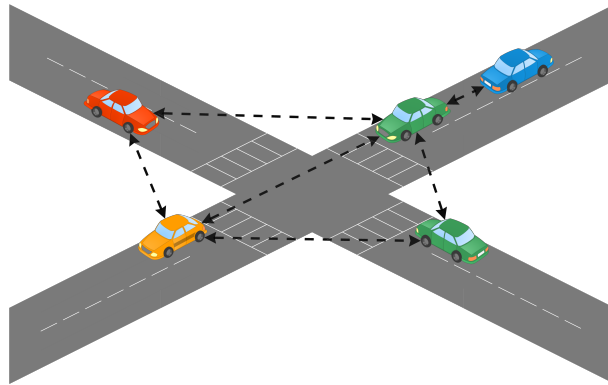


Figura 2: Comunicação V2V

Fonte: Elaborado pelo autor

Existe ainda a comunicação que faz uso das características vistas anteriormente, conhecida como Híbrida ou V2X. Agora, um nó pode tanto se comunicar com outro de forma *ad hoc* e/ou se comunicar com uma infraestrutura para consumir determinado conteúdo e/ou serviço, como bem mostrado na Figura 3. Esse tipo de comunicação é bastante explorada pelo fato de possibilitar a combinação de diferentes serviços, sempre buscando adequar as necessidades do usuário. Como por exemplo, em determinado instante da viagem os passageiros decidem assistir um vídeo da Internet e já em outro ponto da viagem uma mensagem de acidente na pista é propagada entre os veículos para evitar acidentes.

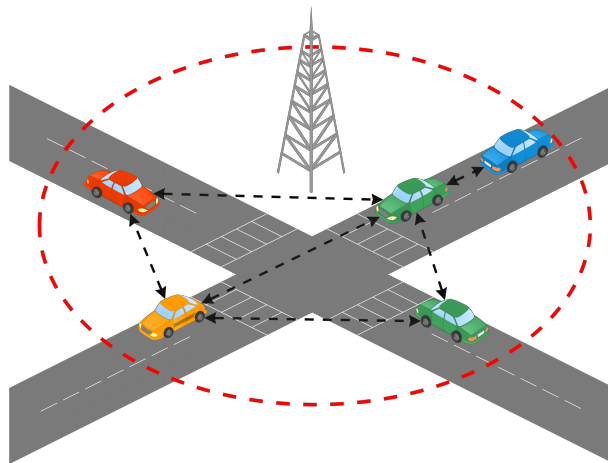


Figura 3: Comunicação Híbrida ou V2X

Fonte: Elaborado pelo autor

O protocolo para disseminação de dados aqui proposto atua no cenário de comunicação veicular V2V, ou seja, opera de forma totalmente distribuída sem a necessidade de uma infraestrutura externa para seu funcionamento. Dessa forma, cada veículo terá autonomia para decidir quem participará da rede no momento da disseminação da mensagem de dados. Isso é importante pois não consumirá recursos da infraestrutura, deixando-a livre para provimento de outros serviços.

2.2 Disseminação de Dados

Diferentes arquiteturas de implantação para redes veiculares existem em ambientes rurais, urbanos ou em rodovias. Isso se torna possível através da rápida evolução que esse tipo de rede vem sofrendo e, também, as comunicações móveis de uma forma geral. As VANETs possuem características bem específicas como topologia altamente dinâmica, rede frequentemente desconectada, endereçamento geográfico e modelagem de mobilidade, por exemplo [21].

Dessa forma, algoritmos para disseminação de dados, ou distribuição de conteúdo, devem ser pensados levando em consideração essas características. Isso faz com que a distribuição de informações em VANETs de forma eficiente seja um grande desafio. Levar em consideração a mobilidade dos veículos, aspectos de comunicação e parâmetros de qualidade desse conteúdo que será distribuído na rede é um ponto crucial para aumento da satisfação dos usuários, ponto esse já vem sendo explorado pelos pesquisadores [22, 23].

A maioria das aplicações em VANETs requerem algum protocolo de disseminação de dados eficiente, confiável e que realiza múltiplos saltos da fonte até o destino (*multihop*). Isso torna esta tarefa uma das mais desafiadoras. Por exemplo, tanto a prevenção de colisões de veículos como o aviso pós-colisão requerem uma disseminação de dados eficiente e robusta, especificamente quando as distâncias entre o emissor e os receptores pretendidos são maiores do que a faixa de transmissão de rádio dos mesmos [21].

A disseminação de dados em VANETs podem ser categorizadas em duas. A primeira é a disseminação de dados V2I, que necessita de alguma infraestrutura na estrada para que a propagação das informações seja possível, podendo ser uma abordagem *push* ou *pull*. Na abordagem *push* a infraestrutura transmite dados para todos os veículos dentro de sua faixa de comunicação. Por outro lado, na abordagem *pull* os veículos solicitam informações sobre dados específicos. Na outra categoria está a distribuição de dados V2V, onde os veículos se comunicam unicamente via *ad hoc* [24].

A disseminação de dados por meio da inundação da rede, conhecida como *Flooding*, é a abordagem mais simples para disseminar dados a partir de uma fonte para todos os veículos localizados dentro de uma Área de Interesse (*Area of Interest* - AoI). Nessa abordagem, o veículo fonte inicia a transmissão da mensagem para todos os veículos no seu alcance, e cada veículo alcançado também repete esse processo. As retransmissões ocorrem sucessivamente até que a rede seja inundada com a mensagem de dados.

O *Flooding* tem um bom desempenho em VANETs com baixa densidade. Porém, essa abordagem não trata do problema de *broadcast storm* [25] que causa sobrecarga na rede, esse problema é muito comum em cenários densos, devido as transmissões de mensagens redundantes ou múltiplas transmissões em um curto intervalo de tempo. Portanto, os protocolos de disseminação de dados em VANETs devem lidar com o problema de *broadcast storm*, altas taxas de atraso na entrega das mensagens, baixa cobertura e colisões de pacotes na camada MAC [2].

Disseminar dados com base no conhecimento contextual além dos vizinhos de 1

salto provê uma seleção eficiente de nós encaminhadores. Especificamente, os dados podem ser encaminhados para o veículo identificado como um ponto comum de comunicação a partir de uma análise topológica, p.e., um nó que tenha um maior número de vizinhos. Nesse contexto, a rede pode ser representada através de um grafo, onde os veículos são considerados como vértices e os enlaces de comunicação entre eles como arestas. Com base nesse grafo é possível analisar o comportamento da rede a partir de métricas de redes complexas [26, 27].

Redes complexas permitem modelar estruturas e aspectos do mundo real através de elementos e conexões entre os elementos para resolução de problemas específicos, ou seja, por meio de grafos [28]. Modelar as VANETs como grafos permite avaliar as interações entre veículos e como elas impactam na rede como um todo, podendo até identificar de comportamentos sociais existentes na VANET [29, 30, 31]. Assim, foca-se na comunicação V2V para distribuição de conteúdo pelo fato de estar mais próxima de uma implementação real, haja vista, o alto custo de implantação e manutenção de infraestruturas a fim de prover comunicação V2I para este fim.

2.2.1 Métricas de avaliação

No contexto de disseminação de dados em VANETs é importante definir quais métricas serão utilizadas nas avaliações dos protocolos propostos. Pesquisas colocam algumas métricas como importantes em avaliações desta natureza [32, 33, 34, 35, 25], sendo as métricas:

- **Cobertura:** representa a porcentagem de mensagens disseminadas que são efetivamente entregue as veículos no interior da área de interesse. Assim, espera-se que os protocolos de disseminação alcancem taxas de cobertura o mais próximo possível de 100%.
- **Mensagens transmitidas:** número total de mensagens transmitidas por todos os veículos da rede no processo de disseminação de dados. Um elevado número de transmissões de mensagens é um forte indicativo de que as mensagens estão sendo disseminadas de forma indiscriminada, ou seja, redundante, o que resulta na sobrecarga da rede. Neste caso, quanto menos transmissões, mantendo uma alta taxa de cobertura, melhor para a rede.
- **Atraso:** o atraso médio que leva para entrega as mensagens do veículo fonte para todos os outros veículos dentro da área de interesse. Baixas taxas de atraso são importantes para aplicações críticas que necessitam tomar decisões rapidamente, como aplicações de segurança ou gerenciamento de trânsito.
- **Colisões:** o número médio de colisões de pacote na camada MAC para disseminar as mensagens de dados. Um elevado número de colisões indica que a seleção de encaminhadores de um dado protocolo não está operando de forma eficiente e ocasiona altas taxas de perdas de pacotes e o problema de tempestade de transmissões.

2.3 Redes Complexas

Rede complexa é entendida como uma abstração que possibilita analisar os relacionamentos entre pares de objetos. Refere-se diretamente a um grafo dinâmico que apresenta propriedades específicas, que não são encontradas em grafos simples [36, 37]. É um tema bastante explorado em diversas áreas do conhecimento quando se tem a necessidade de representação das relações entre os elementos na rede e qual impacto de tais relações. O estudo de redes na forma de grafos foi impulsionado após Leonhard Euler propor uma solução para o problema das pontes de Königsberg (1941), que originou a teoria dos grafos [38]. Em resumo, a rede é representada por um conjunto de vértices que têm suas relações estabelecidas através de arestas.

Pesquisas que envolvem redes complexas buscam extrair conhecimento através do comportamento interativo entre os componentes da rede, como por exemplo a conectividade funcional do cérebro a partir do relacionamento entre neurônios [39]. Pelo fato de se utilizar grafos, a estrutura topológica das redes influenciam diretamente a funcionalidade e os processos que operam sobre a mesma [37]. Como existem diversos tipos de redes, com características diferentes e ligações dos seus pares de vértices podendo ter muitos significados possíveis, as arestas estabelecem um determinado tipo de ligação entre dois vértices de acordo com o cenário estabelecido na análise.

Para entender, a Figura 4 exibe um exemplo da extração de características distintas a partir de uma mesma rede composta por 8 nós. Considerando os nós da rede sendo um grupo de pessoas e fazendo duas análises distintas, as Figuras 4(a) e 4(b) exibem as relações para contatos de amizade e contatos profissionais, respectivamente. Pode-se notar as diferenças para cada uma das análises. Algumas relações de amizade se mantêm em relações de contato profissional (*i.e.* 0-1, 2-3, 4-6 e 4-7), relações são desfeitas (*i.e.* 0-5, 1-2, 1-3, 1-4, 4-5, 5-6) e novas relações surgem (*i.e.* 6-7).

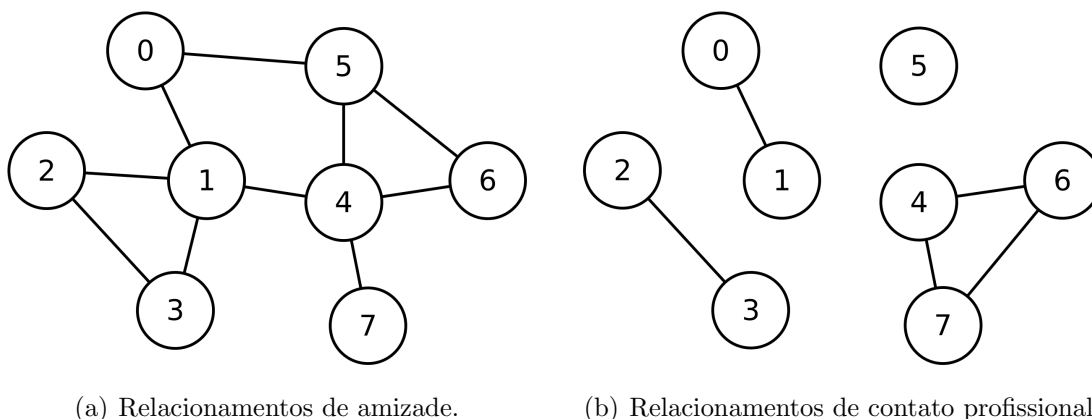


Figura 4: Características distintas extraídas de uma mesma rede

Fonte: Elaborado pelo autor

Especificamente em redes complexas, existem algumas classificações dessas redes de acordo com suas características de ligação entre os nós [28, 40, 41].

- **Rede Regular:** modelo que apresenta redes onde todos os nós possuem mesmo grau;
- **Rede Aleatória:** demonstra as ligações que ocorrem entre os nós da rede de forma aleatória, onde todos os nós têm em média o mesmo número de ligações ou a mesma probabilidade de receber novas ligações. Dessa forma, a conectividade entre os nós obedece a uma distribuição de Poisson;
- **Rede Livre de Escala:** defende que as redes não são formadas de maneira aleatória, onde existe uma ordem na dinâmica de estruturação das redes. Quanto mais ligações um nó possui, maior sua probabilidade para criação de novas ligações com nós que também seguem essa característica. São redes em que o número de nós dominantes é relativamente baixo.
- **Rede Pequeno-mundo:** modelo que permite observar o comportamento de ligação entre nós que estão próximos uns dos outros, onde a distância entre esses nós não ultrapassa um número pequeno de nós. Redes sociais são exemplos de redes deste tipo, onde a probabilidade de ligação entre duas pessoas que têm um mesmo amigo em comum é elevada.

Outro ponto importante, que se refere ao comportamento da rede, é verificar quais nós são considerados os mais centrais. Essa avaliação pode ser utilizada para definir pontos que necessitam de um *firewall* mais forte, no caso da rede de computadores, ou onde adicionar estrategicamente pontos de policiamento em grandes eventos, por exemplo. Sendo assim, os nós mais centrais são aqueles que a partir dos quais podem atingir qualquer outro nó com mais eficiência [42], no que se refere à centralidade de nó. Existe ainda a centralidade de aresta, que mostra qual ligação entre um par qualquer de nós na rede é considerada mais importante, como por exemplo as principais vias de congestionamento em uma cidade ou cabos de Internet que ligam uma rede de *data centers* em diferentes regiões.

Para quantificar a importância de um nó para a rede, existem cálculos matemáticos que se baseiam em determinadas características específicas na interação entre os nós e estrutura topológica, dadas em função de alguns invariantes da rede [43]. Tais cálculos são conhecidos como medidas ou métricas de centralidade. Espera-se, por exemplo, altos índices de centralidade no nó em uma rede que representa uma pessoa com alto cargo de chefia em uma empresa, uma página de Internet que recebe muitos visitantes ou um roteador que funciona como *gateway* em um grande fluxo de dados [42].

2.3.1 Métricas de centralidade

Existem diversas métricas de centralidade para quantificação da influência ou importância que um nó exerce sobre a rede [40]. Dentre elas, as mais tradicionais são as métricas de centralidade de grau (*Degree centrality*), intermediação (*Betweenness centrality*) e aproximação ou proximidade (*Closeness centrality*). Para este trabalho, foram

consideradas as métricas de centralidade de grau e intermediação, assim, as mesmas serão descritas de forma mais detalhada a seguir.

2.3.1.1 Centralidade de Grau

Na avaliação da centralidade de grau o que recebe mais atenção é a quantidade de ligações que um nó possui. Ela é considerada como o primeiro passo dado para o estudo da influência que nós exercem sobre a rede. Está relacionada com o grau dos vértices do grafo. Ou seja, se for realizada uma observação a partir das interações em uma rede social, a maior quantidade de amigos que um indivíduo possui em relação a outro é o que deve ser levado em consideração [43, 40].

Assim, a centralidade de grau se refere a contagem do número de ligações (arestas) incidentes à um nó qualquer, ou seja, é a mesma que considerar o próprio grau desse nó. A Equação 2.1 apresenta uma definição formal da centralidade de grau para grafos não ponderados, os quais são considerados neste trabalho [44].

$$G(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2.1)$$

Onde, i é o nó que se deseja encontrar sua centralidade de grau, j representa todos os outros nós, n é o número total de nós, e a é a matriz de adjacência, na qual a célula a_{ij} é definida como 1 se existir conexão com o nó j e 0 caso contrário.

A Figura 5 exibe uma rede composta por 8 nós onde será verificada a centralidade de grau. Como pode ser observado, o nó 1 possui 4 ligações com outros vértices (0, 2, 3 e 4), ou seja, o grau desse nó é igual a 4 e, consequentemente, seu índice de centralidade de grau também é igual a 4. Levando em consideração essa análise, os nós que são considerados mais centrais são os nós 1 e 4, pois ambos possuem o índice de centralidade de grau igual a 4.

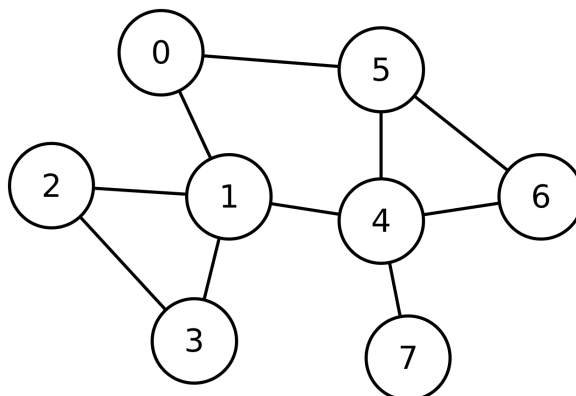


Figura 5: Exemplo de rede para verificação da centralidade de grau

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.1.2 Centralidade de Intermediação

A métrica de centralidade de intermediação está relacionada com a quantidade de caminhos mínimos que são intermediados por um nó na rede [45]. O nó mais central aqui é o que faz parte do maior número de caminhos mínimos. É importante citar que pontos de articulação farão parte de todos os caminhos mínimos entre nós de blocos diferentes, em função de sua posição topológica na rede [42]. A Equação 2.2 formaliza a definição para encontro do índice de intermediação, também em grafos não ponderados.

$$B(i) = \sum_{s \neq t \neq i \in V} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (2.2)$$

Onde, s , t e i são nós pertencentes ao conjunto de nós V , σ_{st} é o número de caminhos mínimos do nó s para o nó t , e $\sigma_{st}(i)$ é o número de caminhos mínimos de s para t que passam pelo nó i .

De acordo com exemplo exibido na Figura 6, a quantidade de caminhos mínimos entre os nós 5 e 1 é igual a 2 ($\sigma_{51} = 2$), a quantidade de caminhos mínimos entre 5 e 1 que passam apenas pelo nó 0 é igual a 1 ($\sigma_{51}(0) = 1$), assim o cálculo de centralidade de intermediação para o nó 0 considerando também $\sigma_{52}(0)$ é igual a $B(0) = \frac{\sigma_{51}(0)}{\sigma_{51}} + \frac{\sigma_{52}(0)}{\sigma_{52}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$.

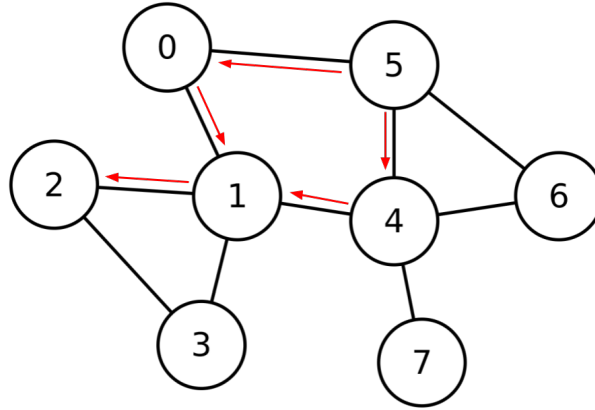


Figura 6: Exemplo de rede para verificação da centralidade de intermediação

Fonte: Elaborado pelo autor

Sendo assim, a motivação para a combinação de redes complexas e VANETs parte do pressuposto de que alguns trabalhos defendem que muitas redes *ad hoc* possuem características tanto de Redes Livre de Escala quanto Redes de Pequeno-mundo [46, 35]. Então, avaliações que consideram métricas de redes complexas em VANETs se fazem necessárias para compreender melhor a dinâmica de interação entre os nós desse tipo de rede e como isso pode ser utilizado para melhoria dos serviços por elas oferecidos.

2.4 Conclusões do capítulo

Neste capítulo, foram apresentadas as principais características acerca das VANETs, os quais incluem os tipos de comunicação que são suportados (V2I, V2V e V2X). Aspectos acerca da disseminação de dados em VANETs foram levantados, bem como os desafios enfrentados e quais métricas são avaliadas pelas soluções de disseminação que presentes na literatura. Além disso, foi apresentado o conceito de redes complexas, os tipos de modelos utilizadas para classificação nas análises que são realizadas nesse tipo de estudo e, principalmente, as métricas de centralidade utilizadas em redes complexas para quantificar o nível de importância que um nó exerce sobre a rede.

CAPÍTULO 3

Trabalhos Relacionados

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais trabalhos relacionados a disseminação de dados em cenários urbanos em VANETs. Ele descreve as principais características e o funcionamento de cada trabalho. Além disso, discute sobre as principais vantagens e desvantagens em relação a entrega eficiente das mensagens e inserção de *overhead* indesejado na rede. Foram considerados trabalhos que necessitam e tomam proveito da troca periódica de *beacons* na rede para funcionamento.

3.1 Acknowledged Broadcast from Static to highly Mobile (ABSM)

Ros et al. [47] propuseram o protocolo denominado Acknowledged Broadcast from Static to highly Mobile (ABSM), que dissemina mensagens de dados com base no conceito de Conjunto Dominante Mínimo (*Connected Dominating Set* - CDS). O CDS nada mais é do que um conjunto de veículos ótimos para realizarem a retransmissão da mensagem. O ABSM baseia-se no fato de que o CDS provê a melhor solução para o problema de disseminação de dados em uma rede conectada. O CDS é o menor subconjunto de veículos conectados em que, se um veículo não estiver no CDS, então ele está diretamente conectado a algum veículo que está no CDS. Portanto, se todos os veículos no CDS retransmitirem a mensagem, então todos os veículos na rede serão cobertos. Calcular o CDS se faz um problema NP-difícil, com isso, é empregada uma heurística que utiliza informações de vizinhos a um salto para identificar quais veículos estão no CDS criado.

Os veículos pertencentes ao CDS recebem maior prioridade para retransmissão de mensagens. Além disso, ABSM utiliza *beacons* periódicos como um mecanismo para reconhecimento de recebimento das mensagens que foram disseminadas, de maneira a

garantir a entrega de dados em redes com conectividade intermitentemente. Logo, no ABSM, quando um veículo recebe uma mensagem, ele espera pelo reconhecimento de seus vizinhos para então calcular o atraso para retransmitir a mensagem. Com isso, a latência na entrega de mensagens depende da frequência com que os *beacons* são trocados.

3.2 Urban Vehicular broadCAST (UV-CAST)

Viriyasitavat et al. [48] propuseram o protocolo *Urban Vehicular broadCAST* (UV-CAST), o qual concentra-se na disseminação de dados em VANETs tanto em cenários densos quanto esparsos. No UV-CAST, se faz necessário que os veículos possuam um mapa digital do cenário no qual está inserido. Cada veículo pode operar em dois diferentes estados, o de supressão de *broadcast* ou *store-carry-forward*. Para decidir em qual dos estados irá operar ao momento que recebe uma nova mensagem de dados, é necessário que haja a troca de *beacons* periódicos para obtenção de informações de seus veículos vizinhos.

Se a rede estiver densa, todos os veículos realizam normalmente o cálculo do tempo de espera para retransmissão. Os veículos que estiverem em uma intersecção possuem prioridade para retransmitir a mensagem. O cálculo do tempo de espera se baseia na distância relativa entre os veículos emissor e receptor, o raio de comunicação do emissor e um tempo máximo de espera definido. Onde, após expiração do tempo máximo e o veículo não receba nenhuma mensagem que já recebeu, então o mesmo retransmite tal mensagem. Caso contrário, a mensagem é descartada. Caso a rede esteja esparsa, o mecanismo de *store-carry-forward* é empregado.

O UV-CAST assume que os veículos em intersecções possuem uma maior probabilidade de conhecer novos vizinhos e, portanto, eles armazenam a mensagem e carregam-na até encontrar um novo vizinho. Por outro lado, se o veículo não é um veículo em intersecção, ele executa um algoritmo de supressão de *broadcast* para retransmitir a mensagem, conforme supracitado. No entanto, o UV-CAST apresenta um alto *overhead*, uma vez que cada veículo tem que transmitir a mensagem a cada novo contato com veículos vizinhos que ainda não tenham recebido a mesma.

3.3 ALgoritmo Autônomo para Disseminação De Informações em Redes Veiculares (ALADDIN)

Meneguet et al. [49] apresentaram o protocolo chamado ALgoritmo Autônomo para Disseminação De Informações em Redes Veiculares (ALADDIN), o qual tem como principal objetivo diminuir o número de retransmissões de uma mensagem de dados, sem comprometer a cobertura de entrega desta mensagem. O ALADDIN faz uso de dois mecanismos para mitigar o problema de *broadcast storm* e aumentar as chances de entrega da mensagem de dados que será disseminada entre partições de rede. Conceitualmente,

partição de rede é uma área onde poucos veículos estão presentes, fazendo com que o processo de disseminação de dados não flua de forma eficiente.

Dessa forma, o protocolo utiliza o conceito de zona de preferência para contornar *broadcast storm*, que é uma região onde os veículos em seu interior são considerados mais adequados para disseminar a mensagem e, com isso, recebem maior prioridade para o processo de retransmissão. Utiliza também um segundo mecanismo, conceituado de Computação Autonômica, que simula a técnica de *store-carry-forward* quando for detectado que a rede está particionada, ou seja, o veículo irá armazenar a mensagem e a retransmitirá somente após uma tomada de decisão com base na probabilidade do veículo retransmitir ou não a mensagem, denominada de eficiência de propagação.

A eficiência de propagação é calculada a partir do número de mensagens transmitidas e o número de *beacons* recebidos em cada veículo, fazendo com que o veículo saiba quando retransmitir ou manter a mensagem. O ALADDIN pode inserir *overhead* indesejado na rede ao armazenar várias mensagens quando um veículo identifica partição na rede (*store-carry-forward*) e encontra outro veículo capaz de continuar o processo de disseminação, além do alto atraso de entrega que isto incorre.

3.4 Clustering Coefficient and node DEGREE (CC-DEGREE)

Cunha et al. [50] introduziram o protocolo *Clustering Coefficient and node DEGREE* (CC-DEGREE), o qual identifica os melhores nós retransmissores com base em duas métricas: i) o coeficiente de agrupamento, o qual representa o número de conexões entre um veículo vizinho dividido pelo número total de conexões possíveis entre os vizinhos do veículo; ii) grau do nó, que representa o número de vizinhos a 1 salto que este nó possui. A partir dessas duas métricas, tempos para agendamento de retransmissão são atribuídos para veículos continuarem o processo de disseminação.

O protocolo CC-DEGREE opera independente da densidade do tráfego. No entanto, o CC-DEGREE calcula o coeficiente de agrupamento baseado apenas na posição de cada veículo, resultando em uma baixa variabilidade para cenários densos e impactando a seleção dos nós retransmissores. Esse fato pode ocasionar na atribuição de tempos de espera muito próximos para vários veículos, aumentando assim as colisões no canal sem fio.

3.5 Context-Aware Routing pROtocol (CARRO)

Akabane et al. [25] apresentaram o protocolo de disseminação de dados para cenários urbanos e rodoviários denominado *Context-Aware Routing pROtocol* (CARRO). É um protocolo que opera a partir de informações contextuais geográficas e que não requer nenhuma suporte de infraestrutura. O CARRO emprega dois mecanismos diferentes em

seu funcionamento: zona de preferência e *store-carry-forward*. O primeiro é para seleção de veículos localizados em setores geográficos de alta prioridade em seu raio de comunicação para continuar o processo de disseminação e, com isso, tratar o problema de *broadcast storm*. O segundo é executado assim que o número de veículos na mesma área geográfica não é satisfatório para continuar o processo de disseminação, ou seja, há uma partição temporal da rede.

Considera-se que cada veículo está equipado com GPS e possuem equipamentos para fornecimento de mapas digitais, pois assim podem identificar em qual cenário se encontram (rodoviário ou urbano). Assim, cada veículo troca *beacons* periodicamente para obter informações de contexto sobre os veículos vizinhos a 1 salto. Nos *beacons* são enviadas quatro informações, sendo: a direção em que o veículo está se deslocando, cenário em que o veículo se encontra (urbano ou rodoviário), a identificação única do veículo (id) e se o mesmo possui ou não a mensagem de dados. A definição de prioridades para retransmissão da mensagem se baseia em atribuir um menor tempo de espera aos veículos que se encontram nas zonas de preferência, no caso de redes densas.

No caso das redes esparsas, o veículo com a mensagem espera o recebimento de *beacons* de veículos que ainda não possuem a mensagem, denominados de veículos desinformados. Uma vez que um veículo desinformado é encontrado, verifica-se em qual cenário se encontra. Se o veículo estiver em cenário urbano, a transmissão da mensagem é agendada, caso contrário a mensagem é retransmitida logo em seguida. Essa verificação do cenário é importante por conta das velocidades dos veículos que trafegam em rodovias, na maioria das vezes, ser maior do que em cenários urbanos, onde que se houvesse agendamento de transmissão o tempo poderia não ser suficiente e ocorrer a interrupção da conexão entre os veículos.

Pelo fato do CARRO considerar o *store-carry-forward* para mitigar o problema de partição da rede, o atraso de entrega na disseminação de dados pode se elevar. Além disso, cada veículo também tem que transmitir o pacote em cada contato com veículos vizinhos que ainda não receberam este pacote, o que resulta em possível aumento de *overhead* e atraso de entrega das mensagens.

3.6 Conclusões do capítulo

Neste capítulo foi apresentado um conjunto de trabalhos que se relacionam com esta pesquisa, no que tange a disseminação de dados em VANETs. Cada um foi detalhado para se demonstrar que todos buscam priorizar a alta cobertura de entrega das mensagens sem inserir *overhead* indesejado na rede. Assim, com base na análise dos trabalhos relacionados, conclui-se que é essencial estar ciente do conhecimento contextual dos vizinhos mas não limitando-se apenas aos distantes a 1 salto, e ainda, selecionar os melhores retransmissores com base nesse conhecimento sem aumentar o *overhead*, mantendo altas taxas de cobertura, baixo atraso de entrega e o mínimo de colisões de pacotes na camada MAC.

Sendo assim, a Tabela 1 sumariza as características principais de cada trabalho relacionado. O *Flooding* ganha espaço aqui por ser a abordagem mais simples de disseminação e que, na maioria das vezes, se encontra nas avaliações desta natureza, já que o mesmo é o *baseline* para os protocolos de disseminação que fazem uso de comunicação puramente V2V.

Tabela 1: Características principais dos trabalhos relacionados

Protocolo	ZonasEnc	BroadcastStor	MetricasSoci	Vizinhos2
<i>Flooding</i>				
ABSM		✓		
UV-CAST	✓	✓		
ALADDIN	✓	✓		
CARRO	✓	✓		
CC-DEGREE	✓	✓	✓	
DDRX	✓	✓	✓	✓

Legenda para Tabela 1:

- ZonasEnc = Faz uso de Zonas de encaminhamento para retransmissão da mensagem.
- BroadcastStor = Busca tratar o problema de *Broadcast storm*.
- MetricasSoci = Utiliza métricas sociais para seleção de retransmissores.
- Vizinhos2 = Considera vizinhos a 2 saltos.

CAPÍTULO 4

Disseminação de Dados baseada em Métricas de Redes Complexas

Este capítulo descreve o funcionamento do protocolo DDRX, protocolo que considera uma abordagem distribuída baseada em emissor para selecionar os veículos mais adequados para realizarem o processo de retransmissão de mensagens de dados. É descrito como as métricas de redes complexas são combinadas para geração de um valor que determina o quanto um veículo é, ou não, eficiente no processo de disseminação e ranqueia todos os veículos candidatos. Aspectos acerca da complexidade do algoritmo utilizado para seleção dos retransmissores é discutido. Por fim, o protocolo é detalhado a partir da apresentação do algoritmo de seu funcionamento.

4.1 Visão geral

No DDRX, cada veículo deve manter o conhecimento local de seus vizinhos de até dois saltos, que é utilizado para construir um grafo local de diâmetro 2 e identificar o nó mais apropriado para continuar o processo de retransmissão. Vale ressaltar que o DDRX toma proveito dos *beacons* que naturalmente são trocados entre veículos na rede, apenas com adição de alguns campos específicos para seu funcionamento.

Na etapa de seleção de nós retransmissores, o DDRX considera duas métricas de redes complexas: i) centralidade de grau e ii) centralidade de intermediação. A centralidade de grau reflete a popularidade do vértice no grafo a partir do seu número de vizinhos [51]. Por outro lado, a métrica de centralidade de intermediação indica a importância de um dado vértice para o grafo em função da quantidade de caminhos mínimos que passam pelo mesmo [52]. Em resumo, a intermediação está diretamente relacionada com o vértice

cuja sua remoção desconecta a rede, ou seja, os vértices de corte¹ [53, 54]. As métricas de centralidade são relevantes por quantificar o nível de importância que um vértice possui dentro da rede, conforme discutido no Capítulo 2.

Um possível cenário de disseminação de dados é exibido na Figura 7 e será explorado neste trabalho. Existe um conjunto de veículos no interior de uma AoI, elipse pontilhada vermelha, que é criada a partir de um determinado evento, tendo suas dimensões definidas com base na categoria desse evento, conforme indicado por [55]. Um dos veículos (veículo vermelho, denominado neste trabalho de veículo fonte) coleta uma informação qualquer e a encapsula em uma mensagem de dados para disseminar aos outros veículos interessados, *i.e.*, no interior da AoI. Porém, o veículo fonte só possui 3 vizinhos diretos, então a mensagem precisará ser enviada em mais de 1 salto até chegar nos outros veículos que também estão dentro da AoI.

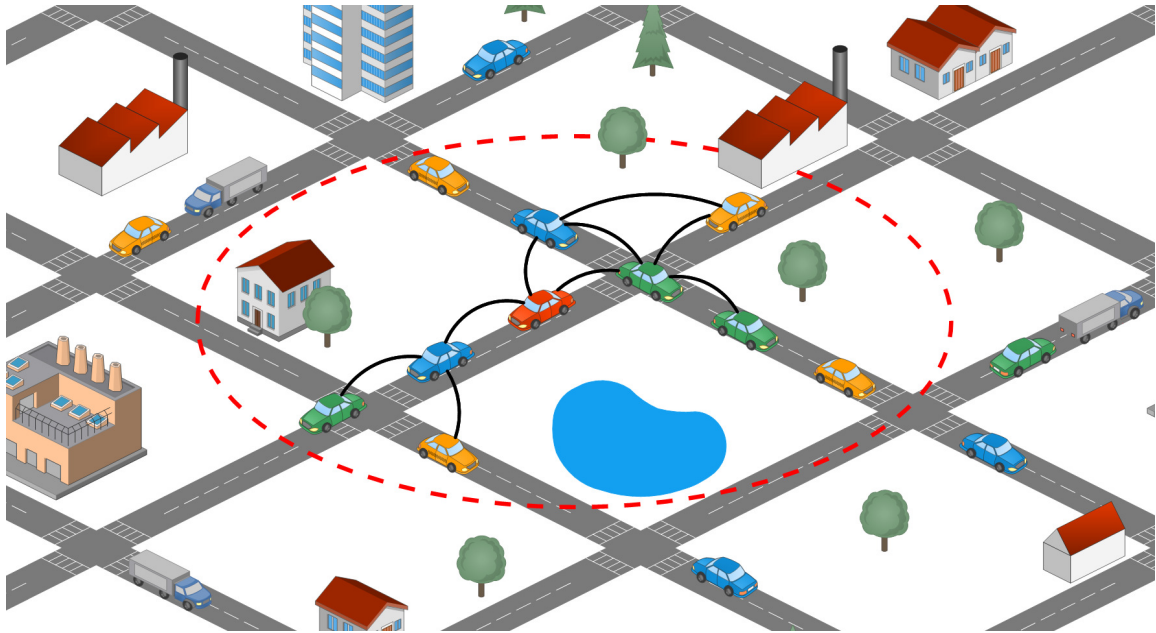


Figura 7: Cenário de disseminação de dados em VANETs

Fonte: Elaborado pelo autor

Definição I: Considere um cenário VANET composto por veículos equipados com um rádio compatível com o padrão IEEE 802.11p. Seja $G = (V(G), E(G))$ um grafo dinâmico que representa os enlaces sem fio assimétricos entre os veículos, onde $V(G)$ representa o conjunto de veículos e $E(G)$ representa o enlace de comunicação entre veículos vizinhos. Cada veículo $v \in V(G)$ conhece sua posição em andamento p_{atual} e o conjunto de veículos vizinhos $N_v \subseteq V(G)$ composto por vizinhos a 1 salto de v . Por fim, seja $E'_v \subseteq E(G)$ o conjunto dos enlaces de comunicação entre v e seus vizinhos.

¹Também conhecidos como Pontos de Articulação.

4.1.1 Conhecimento da vizinhança

Na operação do protocolo DDRX, se faz necessário a criação de um conhecimento de vizinhança para tomada de decisão acerca dos possíveis veículos retransmissores. Assim, cada veículo v deve transmitir *beacons* periódicos contendo sua identificação id , sua posição atual p_{atual} , e seus vizinhos N_v a 1 salto para que o veículo receptor de *beacons* possa construir o conhecimento contextual sobre seus vizinhos a 2 saltos. Dessa forma, ao receber um *beacon*, o veículo salva essa informação em sua lista de vizinhos $listaN_v$ se ainda não possuir tal entrada. Se o veículo já possuir a entrada de um mesmo id , apenas atualiza as informações na lista.

Para exemplificação, a Figura 8 apresenta uma abstração do cenário de disseminação contido na Figura 7, com apenas os veículos no interior da AoI. Os veículos são representados por vértices numerados de 1 a 10, sendo denominados como v_1, \dots, v_{10} , com as respectivas arestas para veículos vizinhos a 1 salto.

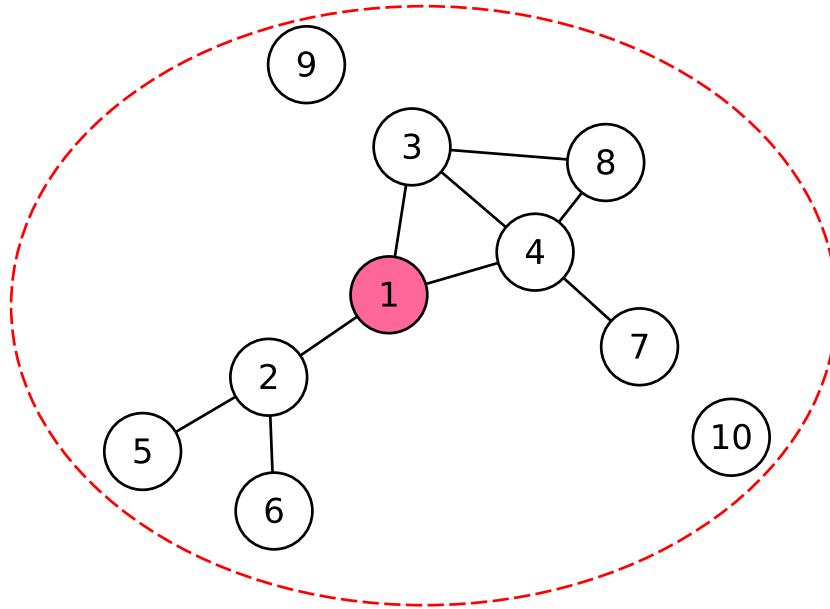


Figura 8: Abstração gráfica do cenário de disseminação da Figura 7

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, a Tabela 2 ilustra como as informações são guardadas na $listaN_v$ de v_1 . O campo id indexa a lista com os ids dos veículos vizinhos a v_1 , o campo p_{atual} comporta suas respectivas coordenadas geográficas e N_v é a lista de vizinhos a 1 salto de cada um dos veículos da coluna id , isto é, os vizinhos a 2 saltos de v_1 .

Pode-se observar na Tabela 2 que a $listaN_v$ de v_1 comporta os veículos de id 2, 3 e 4, com suas respectivas posições geográficas. O ponto principal é a coluna N_v , mostrando que o veículo de id 5 somente é alcançado por v_1 através de 2, o veículo 8 é alcançado através dos veículos 3 ou 4 e assim sucessivamente com os demais índices da lista. Com essa organização é possível ter conhecimento da vizinhança além dos veículos dentro do raio de comunicação de v_1 , ou seja, dos seus vizinhos a 2 saltos.

Tabela 2: Exemplo das informações contidas na $listaN_v$ do veículo v_1

id	p_{atual}	N_v
2	(101,35)	(5, 6)
3	(192,79)	(1, 4, 8)
4	(222,55)	(1, 3, 7, 8)

Em decorrência da mobilidade dos nós na rede ser altamente dinâmica, as informações de vizinhança podem se tornar desatualizadas em um curto intervalo de tempo. Diante disto, um mecanismo para atualização das informações em N_v se faz necessário. Algumas implementações da literatura [56] consideram atualizar por completo a lista de vizinhos ao final de uma janela de tempo definida ou atualizar a lista de vizinhos com base no não recebimento de *beacons* [50, 57]. Considerou-se a primeira abordagem de atualização por atender às necessidades do protocolo e apresentar bons resultados, conforme poderá ser visto no Capítulo 5.

4.1.2 Seleção de retransmissores

Para melhor explorar as informações de vizinhança que foram obtidas, se faz necessária a utilização de uma estrutura que permita visualizar as iterações entre os nós da rede para assim descobrir os melhores veículos para retransmitirem a mensagem de dados. Então, a representação da rede em forma de grafo é escolhida por ser bastante difundida na literatura e permitir a visualização das conexões entre os veículos e como a dinâmica de propagação pode ocorrer através da rede.

Em Teoria dos Grafos, e mais especificamente em grafos simples, a remoção de um único vértice, chamado vértice de corte, faz com que o grafo se torne desconexo. Ou seja, a remoção desse vértice resulta no aumento dos componentes conexos do grafo. Para entender, sejam a , b e c vértices em G , onde a só é considerado um vértice de corte se todo caminho entre b e c passa por a ou existe um particionamento do conjunto de vértices $V - a$ em dois subconjuntos V_1 e V_2 tal que qualquer caminho entre $b \in V_1$ e $c \in V_2$ passa obrigatoriamente pelo vértice a [58].

Sendo assim, no momento em que o DDRX necessita disseminar uma mensagem, cria-se um subgrafo induzido por arestas $G[E'_u]$ para cada $u \in listaN_v$, representando os enlaces de conexão entre o veículo v e seus vizinhos a 1 e 2 saltos. Define-se a avaliação para seleção dos retransmissores em um subgrafo de G para tentar contornar a curta validade temporal das informações geográficas dos nós da rede. Então, o subgrafo criado tem validade apenas para o momento em que a mensagem de dados deve ser enviada, sendo destruído logo em seguida. Assim, o DDRX identifica cada veículo candidato à retransmissor como um vértice de corte em $G[E'_u]$ criado a partir das informações de conhecimento de vizinhança.

A utilização dessa abordagem para seleção é motivada pelo fato de que tais nós representam pontos comuns para troca de informações. O vértice de corte também é

o vértice com o maior índice de centralidade de intermediação, possibilitando o direcionamento da troca de informações entre grupos de nós [52, 59]. A identificação de tais vértices pode ser realizada através da verificação unificada de cada vértice no grafo, ou seja, removendo vértice por vértice e avaliando se o grafo ainda permanece conexo. Porém, tal abordagem se torna custosa computacionalmente por depender do tamanho do grafo em análise e da estrutura de dados utilizada em sua construção, tendo complexidade no tempo $\mathcal{O}(V * (V + E))$ para grafos usando lista de adjacências, por exemplo [60].

Uma abordagem mais eficiente para identificação dos vértices de corte, e que é utilizada neste trabalho, é a aplicação do algoritmo de Tarjan [61]. Tal algoritmo faz uso da Busca em Profundidade (*Depth-First-Search* - DFS) para decomposição de um grafo qualquer em uma árvore DFS com complexidade no tempo e espaço $\mathcal{O}(V + E)$. A premissa principal de uma árvore DFS é que um vértice u é pai de outro vértice v se e somente se v for descoberto através do vértice u .

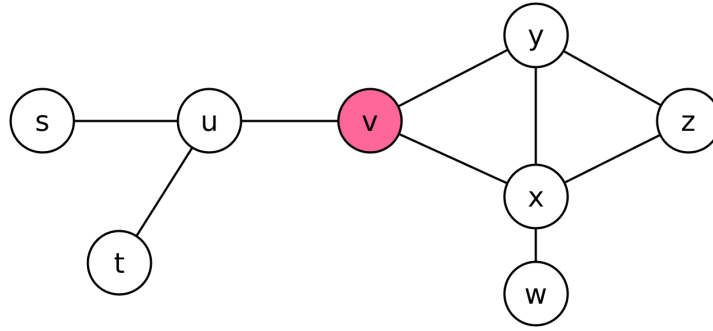
O algoritmo de Tarjan define duas regras, representadas aqui pela função $\phi(v)$, para identificação dos vértices de corte em um grafo. Sendo: (i) v é raiz da subárvore e possui pelo menos 2 filhos e (ii) v não é raiz da subárvore e tem um filho u , tal que nenhum vértice da subárvore enraizada por u tenha uma aresta de retorno para algum antepassado de v , conforme apresentado na Equação 4.1

$$\phi(v) = \begin{cases} 1 & v \text{ é raiz e } N_v \geq 2, \\ 1 & v \text{ não é raiz e possui um filho } u \\ & \text{de tal modo que } N_v - \{u\} \cap N_u - \{v\} = \emptyset \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (4.1)$$

Desta forma, cada veículo encontra um conjunto de vértices de corte $v_{\text{corte}} \subseteq V(G[E'_u])$ com a aplicação da função $\phi(v)$ para cada $v \in V(G[E'_u])$. A Figura 9 apresenta um exemplo do subgrafo $G[E'_u]$ para o vértice v . O vértice v pode identificar qual é o melhor candidato a ser selecionado como nó retransmissor que, neste caso, são os vértices u e x , uma vez que eles satisfazem as condições impostas no algoritmo de Tarjan. Pois, a remoção de u e x resultaria na desconexão direta de s , t e w com o restante do subgrafo, respectivamente.

Após identificação dos vértices de corte, se faz necessário filtrar os melhores desses vértices. Pelo fato de se estar avaliando apenas um subgrafo de G , nomeadamente $G[E'_u]$, optou-se por diferenciar cada veículo candidato à retransmissor a partir de seus índices de centralidade com a combinação de duas métricas de centralidade que refletem efeitos mais locais do que globais para a rede, sendo as métricas de centralidade de grau e centralidade de intermediação, conforme bem discutido no Capítulo 2.

O DDRX seleciona o veículo que seja vértice de corte (maior índice de centralidade de intermediação) de acordo com a Equação 4.1, considerando que tal nó possua a maior quantidade de vizinhos a 1 salto (maior índice de centralidade de grau), o que foi denominado neste contexto de coeficiente de vizinhança, e assim possa alcançar uma

Figura 9: Subgrafo induzido por arestas $G[E'_u]$

Fonte: Elaborado pelo autor

maior quantidade de veículos realizando apenas uma única transmissão. Considera-se ainda, que o veículo esteja mais próximo à borda do raio de comunicação para diminuir a quantidade de retransmissões da mensagem no interior da AI. Essa seleção ocorre com a decomposição do raio de comunicação do veículo detentor da mensagem a ser transmitida v_e em quatro quadrantes, nomeados zonas de encaminhamento.

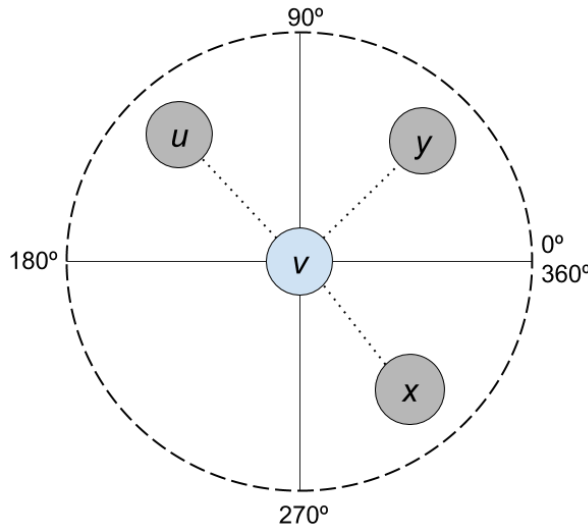


Figura 10: Zonas de Encaminhamento

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 10 exibe um exemplo de como é realizada a definição das zonas de encaminhamento do DDRX. As quatro zonas são denominadas como se segue: *primeiraZona* = $[0, 90]^\circ$ (comporta o veículo y), *segundaZona* = $[91, 180]^\circ$ (comporta o veículo u), *terceiraZona* = $[181, 270]^\circ$ (não comporta nenhum veículo) e *quartaZona* = $[271, 359]^\circ$ (comporta o veículo x). Essa segmentação é realizada para contornar o problema de bifurcação da disseminação que foi identificado com a realização dos experimentos, problema este que consiste em direcionar o fluxo de disseminação das mensagens de dados em uma única direção, por selecionar apenas um único veículo, podendo ser essa direção oposta de onde a maior parte dos nós da rede se encontra.

Com base nas zonas de encaminhamento onde os veículos retransmissores serão identificados, se faz necessária a definição de como estes serão selecionados após essa identificação. O DDRX calcula um ganho de retransmissão para cada vértice de corte e faz uma verificação se o valor calculado é o maior atual em cada zona de encaminhamento. O objetivo da aplicação deste ganho é realizar um desempate caso exista mais de um vértice de corte em uma mesma zona de encaminhamento, já que o objetivo do protocolo é selecionar eficientemente os retransmissores para não realizar transmissões desnecessárias.

O calculo do ganho de retransmissão baseia-se em dois fatores principais: (i) distância relativa entre o veículo v_e e seu vizinho candidato à retransmissor v_c , a partir das posições p_{atual} conhecidas por cada um, tendo como limiar o raio de comunicação $raio$ dos veículos; e (ii) coeficiente de vizinhança, que indica o número de vizinhos $|N_v|$ a 1 salto (centralidade de grau) do veículo v_c dividido pelo maior grau de vizinhança $max(N_v)$ em $G[E'_u]$. Todos esses parâmetros são multiplicados por um valor w para manter o resultado no intervalo $[0, 1]$. O veículo com maior ganho de retransmissão é selecionado como retransmissor, conforme denotado na Equação 4.2.

$$\arg \max_{v \in V(G[E'_u]) \mid \phi(v)=1} w \left(\frac{distancia(v_c, v_e)}{raio} + \frac{|N_v|}{max(N_v)} \right) \quad (4.2)$$

Caso não seja identificado pelo menos um vértice de corte (Equação 4.1), o protocolo DDRX deve selecionar o veículo que possui o maior coeficiente de vizinhança, denotado na Equação 4.3, em cada zona de encaminhamento e que também está mais próximo à borda do raio de comunicação de v_e . Considera-se essa abordagem pelo fato de que quanto mais vizinhos um veículo possui (maior centralidade de grau), mais veículos à 1 salto recebem sua mensagem [50].

$$w \left(\frac{distancia(v_c, v_e)}{raio} + \frac{|N_v|}{max(N_v)} \right) \quad (4.3)$$

4.1.3 Funcionamento

O Algoritmo 1 resume o funcionamento do DDRX. As entradas do algoritmo consistem na mensagem de dados msg a ser retransmitida, lista de vizinhança $listaN_v$ e posicionamento atual p_{atual} do veículo emissor v_e . No momento em que v_e recebe a mensagem de dados, verifica se o seu id foi indicado como retransmissor para esta mensagem (Linha 2) e, caso negativo, apenas descarta a mensagem e não realiza nenhuma outra ação. Caso positivo, o processo avança e se é construído o subgrafo $G[E'_u]$ (Linha 3) com as informações de vizinhança obtidas através da troca de *beacons*. A partir do subgrafo criado, é aplicado o algoritmo de Tarjan para identificação dos vértices de corte (Linha 4). Como as informações de posicionamento tanto do v_e quanto de v_c são conhecidas, o ângulo² entre eles é calculado (Linha 5) para identificação futura de qual zona de

²Cálculo realizado a partir da função **atan2(x,y)** presente na linguagem de programação C++ [62].

encaminhamento cada um está.

Algoritmo 1: Criação do subgrafo para identificação dos retransmissores.

Entrada: msg , $listaN_v$, (y_e, x_e)
Saída: x // Nó selecionado para retransmitir a mensagem

```

1  início
2      se  $meuId = busca(listaRelays)$  então
3           $G[E'_u] = \text{constroiGrafo}(listaN_v)$ 
4           $listaVerticesCorte = \text{algoritmoTarjan}(G[E'_u])$ 
5           $angulo = \text{atan2}(y_f - y_c, x_f - x_c) \cdot \frac{180}{\pi}$ 
6          se  $listaVerticesCorte.size > 0$  então
7               $x = \text{Cálculo realizado na Equação 4.2}$ 
8              se  $angulo \geq 0.0$  e  $angulo \leq 90.0$  então
9                  se  $x = maiorPrimeiro$  então
10                      $listaRelays.set(0, x)$ 
11              senão se  $angulo > 90.0$  e  $angulo \leq 180.0$  então
12                  se  $x = maiorSegundo$  então
13                      $listaRelays.set(1, x)$ 
14              senão se  $angulo > 180.0$  e  $angulo \leq 270.0$  então
15                  se  $x = maiorTerceiro$  então
16                      $listaRelays.set(2, x)$ 
17              senão
18                  se  $x = maiorQuarto$  então
19                      $listaRelays.set(3, x)$ 
20               $\text{enviaMensagem}(msg \rightarrow listaRelays)$ 
21               $\text{destroiGrafo}(G[E'_u])$ 
22          senão
23               $x = \text{Cálculo dado pela Equação 4.3}$ 
24              Mesmos procedimentos realizados da linha 8 à linha 19
25               $\text{enviaMensagem}(msg \rightarrow listaRelays)$ 
26               $\text{destroiGrafo}(G[E'_u])$ 
27          senão
28              descarta  $msg$ ;

```

Com o subgrafo criado, o DDRX verifica se v_e possui vértices de corte ou não (Linha 6). Caso possua, realiza o cálculo do ganho de retransmissão (Linha 7) para começar a identificação de qual zona de encaminhamento v_c se encontra. Por exemplo, se a lista de vértices de corte tem tamanho igual a 2 e a verificação do primeiro vértice indique que o mesmo se encontra na *primeiroZona*, o *id* deste veículo é adicionado no primeiro índice da estrutura utilizada para guardar os veículos indicados como retransmissores *listaRelays* (Linha 10) e enviados na mensagem *msg*. Se o segundo veículo também estiver em *primeiraZona*, é feita a comparação para saber quem possui maior valor de ganho de retransmissão para esta zona (Linha 9), sendo o de maior ganho indicado no

índice correspondente de *listaRelays* (Linha 10). Esse processo é realizado em todas as zonas de encaminhamento (Linha 8 até 19).

Se no subgrafo criado não existir ao menos um vértice de corte, a avaliação passa a ser realizada pelo coeficiente de vizinhança (Linha 22). O cálculo realizado segue o mesmo princípio do que já foi discutido, porém considera apenas informações de centralidade de grau de v_c (Linha 23). Os mesmos procedimentos empregados anteriormente também são válidos aqui, seja as verificações de ângulo, verificação dos maiores coeficiente de vizinhança em cada uma das zonas de encaminhamento e atualização dos índices em *listaRelays* a partir dos resultados das comparações (Linha 24).

Após identificação dos nós retransmissores, o protocolo DDRX adiciona os seus respectivos *ids* na mensagem *msg* e a envia em *broadcast* (Linha 20). Levando em consideração que o subgrafo já foi utilizado para definir os retransmissores contidos na mensagem de dados enviada, o mesmo é destruído por não ser mais válido e para liberar recursos computacionais para a rede (Linhas 21 e 26). Conforme recebimento da mensagem por parte de v_c , cada receptor verifica se a mesma já foi recebida anteriormente para evitar retransmissão redundante. Se já a recebeu, descarta. Caso o veículo ainda não tenha recebido, verifica-se a informação dos retransmissores selecionados *listaRelays* que está contida na mensagem (Linha 2). Se o veículo receptor possuir o mesmo *id* indicado na mensagem, ele inicia um novo processo de seleção.

4.2 Conclusões do Capítulo

Neste capítulo foi apresentado o DDRX. Seu funcionamento foi dividido em duas etapas para melhor entendimento de sua operação. Foi discutido como as informações de Conhecimento de vizinhança são armazenadas e mantidas para garantir que a Seleção de retransmissores construa o subgrafo induzido por aresta que é utilizado para identificar os melhores veículos para realizarem a disseminação de dados a partir de informações concisas e válidas no aspecto temporal. Aspectos acerca da complexidade do algoritmo são apresentados e como as métricas de redes complexas são exploradas no protocolo.

CAPÍTULO 5

Avaliação de desempenho

Neste capítulo será descrito o processo de avaliação de desempenho do DDRX. Apresenta a metodologia de avaliação, bem como todos os parâmetros configurados para as simulações computacionais. Assim, foram utilizadas métricas de avaliação de desempenho para protocolos de disseminação, sendo descritas na Seção 2.2. Além disso, é apresentado um estudo de caso em que o DDRX é avaliado como parte integrada a uma aplicação de ITS, tendo também, todo esse cenário descrito em detalhes. Por fim, serão apresentados os resultados obtidos em ambas análises.

5.1 Caso de uso I: Disseminação de Dados

Um primeiro caso de uso é montado para avaliar como o DDRX se comporta em relação a outros protocolos de disseminação de dados em VANETs. O cenário avaliado será um cenário urbano de 1 km² do centro da cidade de Manhattan, Estados Unidos, conforme exibido na Figura 11. Uma única mensagem de dados é disseminada na rede. O objetivo deste caso de uso é avaliar o DDRX operando sozinho na VANET, sem nenhuma outra aplicação necessitando das informações que são disseminadas por ele.

5.1.1 Descrição da simulação

As simulações foram realizadas no *framework* VEINS 4.3¹ do simulador de redes OMNeT++ 4.6², o qual implementa a pilha de protocolo do padrão IEEE 802.11p para comunicação V2V e atenuação de sinal. Para estabelecer um cenário de avaliação, utilizou-se dez ruas de duas pistas em uma área de 1 Km² do centro da cidade de Manhattan

¹<http://veins.car2x.org/>

²<http://omnetpp.org/>

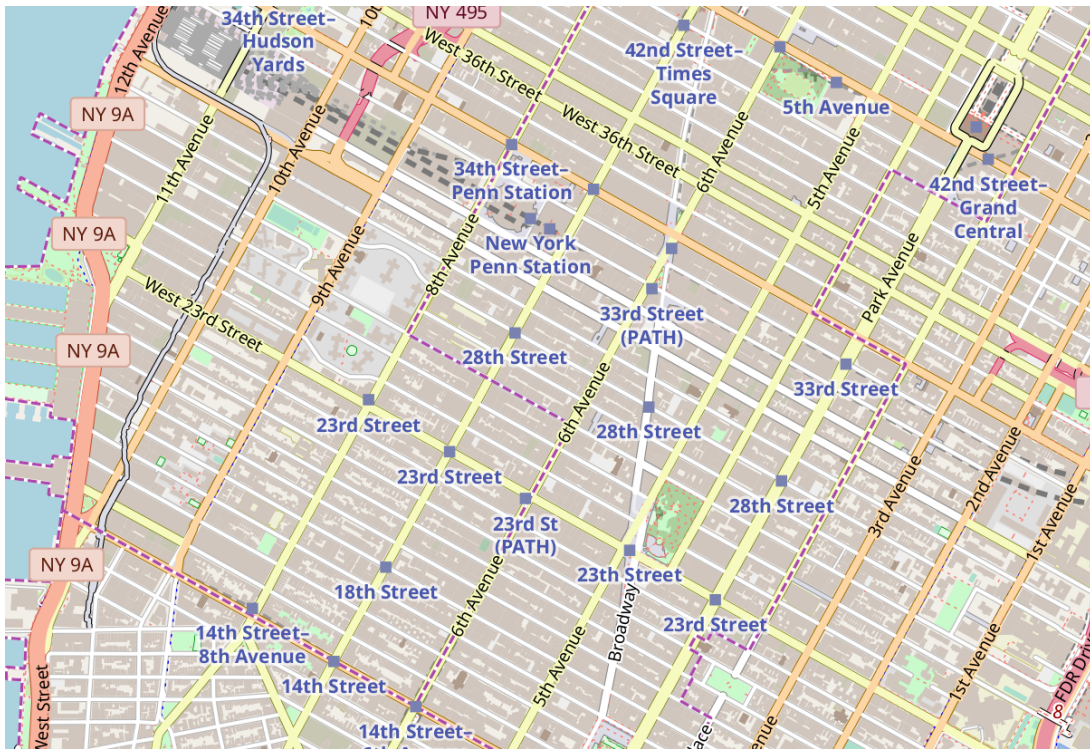


Figura 11: Cenário do centro da cidade de Manhattan, Estados Unidos

Fonte: OpenStreetMaps

nos Estados Unidos. Essa região foi obtida através do OpenStreetMap³ e importada pelo *Simulation of Urban MObility* (SUMO)⁴, versão 0.25.0, para gerar os registros de movimentação dos veículos. Isso permite reproduzir os movimentos dos veículos e as interações V2V.

Os efeitos de atenuação do sinal causados por edifícios foram considerados, onde assumiu-se que cada bloco possui um obstáculo de 80m x 80m para representação de edifícios altos. Para quantificar a evolução do tráfego neste cenário, variou-se a densidade de veículos em 100, 200, 300, 400, 500, 600 e 700 veículos/km², com uma AoI de 1 Km². A velocidade dos veículos respeita os limites impostos pelo cenário, sendo de no máximo 50.04 km/h em cada uma das vias.

A taxa de bits na camada MAC foi definida em 18 Mbit/s e a potência de transmissão para 2.2mW. Esses parâmetros, juntamente com o modelo de propagação *Two-Ray ground*, fornecem um raio de comunicação de 300 m. A frequência de envio de *beacons* foi de 1 Hz. Cada simulação foi executada 33 vezes com diferentes sementes de aleatoriedade e os resultados apresentam os valores com um intervalo de confiança de 95%. O tempo de simulação foi de 150 segundos, que é considerado suficiente para avaliar algoritmos de disseminação de dados [49].

No momento em simulação se manteve estável, onde a maior parte dos veículos

³<http://www.openstreetmap.org/>

⁴<http://sumo.dlr.de>

se encontrava no cenário, um veículo foi selecionado para dar início ao processo de disseminação a partir do envio de uma única mensagem de dados com tamanho de 2048 bytes. O veículo selecionado é o que está mais próximo ao centro do cenário. A Tabela 3 resume os parâmetros utilizados na avaliação.

Tabela 3: Parâmetros das simulações do Caso de Uso I

Parâmetro	Valor
Tempo de simulação	150 s
Densidade de veículos	de 100 a 700 veículos/km ²
Velocidade dos veículos	de 0 a 50.04 km/h
Tamanho do cenário	1 Km ²
Área de interesse	1 Km ²
Tecnologia de comunicação	IEEE 802.11p
Potência de transmissão	2.2 mW
Raio de comunicação	300 m
Tipo de comunicação	V2V
Taxa de bits	18 Mbits/s
Frequência de <i>beacons</i>	1 Hz
Tamanho da mensagem de dados	2048 bytes

Foram consideradas as seguintes métricas para a avaliação: (i) *Cobertura*: reflete a porcentagem de veículos dentro da AoI que recebem a mensagem; (ii) *Número de mensagens transmitidas*: total de transmissões da mensagem, usado para medir o *overhead*; (iii) *Atraso*: atraso médio de entrega da mensagem da fonte para todos os veículos dentro da AoI; e (iv) *Colisões*: número total de colisões de pacotes na camada MAC.

5.1.2 Resultados obtidos

Para verificação da eficiência de identificação dos vértices de corte pelo DDRX, a Figura 12 exibe a média de existência desses vértices para cada uma das densidades avaliadas. O número de vértices de corte cresce conforme aumento da densidade de veículos, o que é um ponto positivo pois assim a escolha dos retransmissores possui um número maior de candidatos, sendo refinada com a adição de outros componentes conforme já discutido na Seção 4.1.2. Mesmo na menor densidade, 100 veículos/km², o número de candidatos identificados é suficiente para o atingimento de índices aceitáveis de cobertura na entrega das mensagens, conforme será apresentado e discutido mais a frente.

A Figura 13 apresenta a cobertura atingida pelos protocolos DDRX, CARRO, UV-CAST, CC-DEGREE e *Flooding*. Ao analisar os resultados observa-se que todos os protocolos atingem pelo menos 94.8% de cobertura em densidade mais baixa e acima de 98% em densidade mais alta. O protocolo CC-DEGREE mesmo na menor densidade atinge o melhor desempenho com 96.8% de cobertura, mas conforme a densidade aumenta sua cobertura decai em relação ao protocolo CARRO. O CARRO tem 96.6% de cobertura na menor densidade e supera os demais protocolos na maior densidade, com 98.8% de

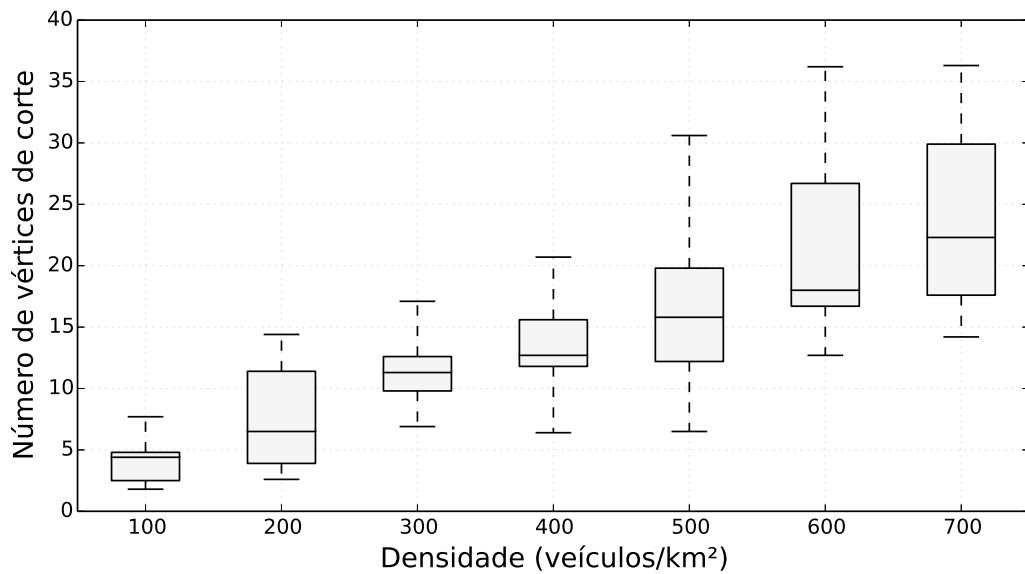


Figura 12: Número de vértices de corte identificados no cenário

cobertura. O protocolo DDRX destaca-se por aumentar sua cobertura conforme aumento da densidade, ou seja, aumenta de 94.8% para 98.4%. A menor cobertura do DDRX em comparação aos demais protocolos nas densidades mais baixas é justificado pelo fato de que os protocolos UV-CAST, CC-DEGREE e CARRO consideram o mecanismo de *store-carry-forward* para garantia de entrega das mensagens. As altas taxas de cobertura alcançadas pelo *Flooding* são reflexo da falta de seleção de nós retransmissores, impactando no aumento do número de transmissões tal como apresentado na Figura 14.

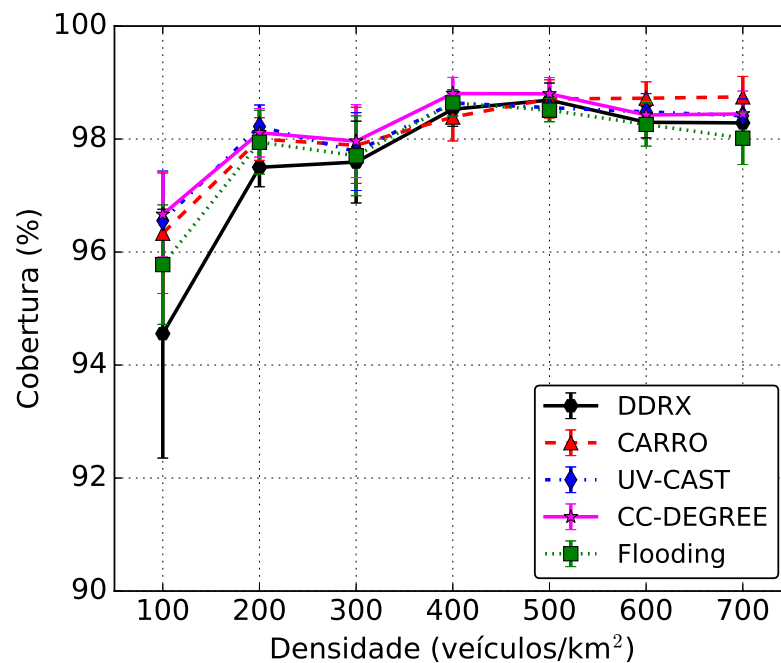


Figura 13: Porcentagem de cobertura atingida por cada protocolo

A Figura 14 demonstra o número de transmissões que cada protocolo necessita

para disseminar dados na rede. Como pode ser observado, o DDRX diminui o número de transmissões em 90.25%, 64.10%, 57.12% e 48.92% em relação aos protocolos *Flooding*, CARRO, UV-CAST e CC-DEGREE, respectivamente. Isso é resultado da seleção de nós retransmissores em cada zona de encaminhamento realizada pelo protocolo DDRX. Os protocolos CARRO, CC-DEGREE e UV-CAST consideram a transmissão do pacote em cada contato com um veículo vizinho que ainda não recebeu este pacote, aumentando assim o número de transmissões e atraso tal como apresentado na Figura 15. O elevado número de transmissões para o *Flooding* é decorrente da não seleção de nós retransmissores, ou seja, todos veículos que recebem a mensagem de dados a retransmitem. Tanto CC-DEGREE quanto DDRX utilizam métricas de redes complexas e/ou teoria dos grafos para selecionar nós retransmissores, justificando porque tais protocolos obterem o menor número de transmissões. Vale ressaltar que é essencial realizar a disseminação de dados com baixo número de transmissões para não afetar o desempenho de outras aplicações que compartilham o mesmo canal sem fio.

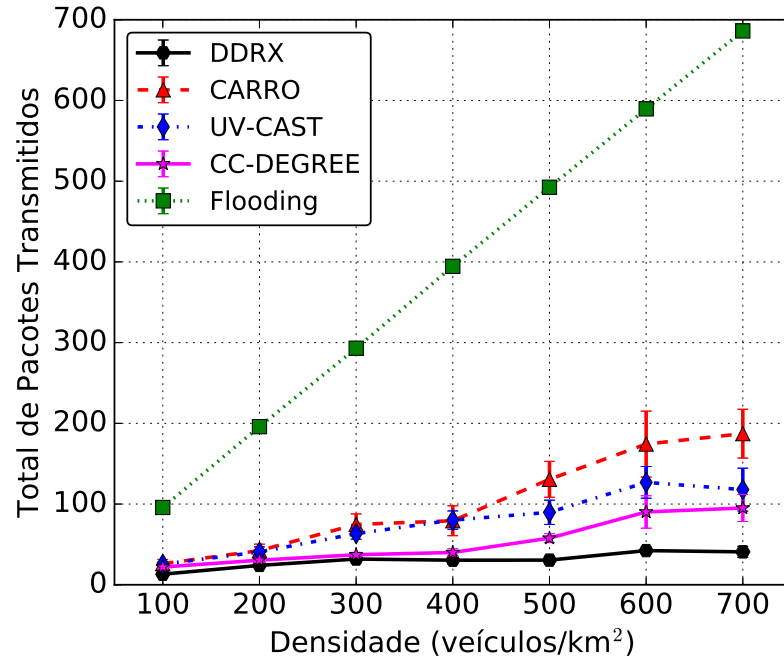


Figura 14: Número total de mensagens transmitidas

A Figura 15 exibe o atraso médio para entrega de dados pelos protocolos DDRX, CARRO, UV-CAST, CC-DEGREE e *Flooding*. O protocolo DDRX dissemina a mensagem com 89.27%, 84.32%, 41.56% e 40.97% menos atraso que os protocolos CC-DEGREE, UV-CAST, CARRO e *Flooding*, respectivamente. Os protocolos UV-CAST e CC-DEGREE têm maiores atrasos em comparação com os outros protocolos tanto em cenários esparsos quanto densos, uma vez que consideram o mecanismo de *store-carry-forwarding*. O CARRO mesmo considerando o *store-carry-forwarding* obtém um baixo atraso entre 0.07 e 0.11 segundos por não depender exclusivamente do *store-carry-forwarding* para verificação de entrega da mensagem. O protocolo DDRX obteve atraso médio de 0.05 segundos. O atraso é uma métrica crucial para certos tipos de aplicação, tal como um TMS [63], pois as decisões podem ser tomadas mais rapidamente.

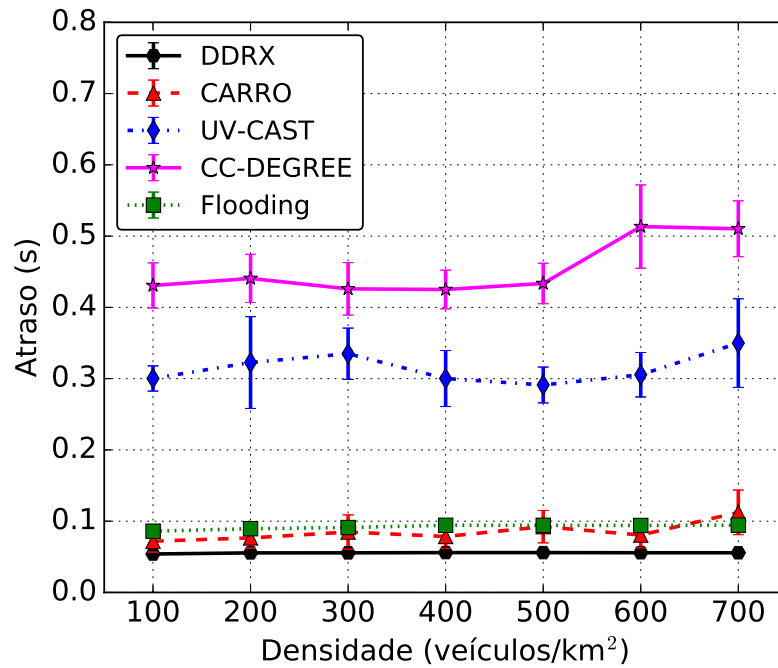


Figura 15: Atraso médio de entrega

A Figura 16 apresenta o número médio de colisões de pacotes na camada MAC. Essa métrica permite observar como os protocolos lidam com o aspecto distribuído em seu funcionamento, pois se dois ou mais transmitem uma mensagem com tempos próximos elas irão colidir e a mensagem será perdida, resultando em retransmissões. Como esperado, o *Flooding* é o protocolo com maior número de colisões, sendo resultado da não coordenação no processo de retransmissão de pacotes, uma vez que muitos veículos tentam acessar o canal ao mesmo tempo. O protocolo DDRX possui em média 90.71%, 53.71%, 46.37% e 32.77% menos colisões que os protocolos *Flooding*, UV-CAST, CC-DEGREE e CARRO, respectivamente. Isso deve-se a seleção de nós retransmissões eficiente efetuada pelo DDRX, onde diminui-se a quantidade de candidatos a partir da identificação dos vértices de corte em cada zona de encaminhamento, e também pela atribuição de uma distribuição uniforme no momento em que os poucos veículos selecionados agendam suas transmissões.

5.2 Caso de uso II: Sistema de Gerenciamento de Trânsito

O crescimento desproporcional da quantidade de veículos em relação às melhorias da infraestrutura viária acarreta na incidência de alguns problemas nos grandes centros urbanos [15]. Um desses problemas é o congestionamento, onde muita das vezes os condutores não têm nenhum suporte adicional para evitar ou minimizar os impactos desse tipo de situação. Dessa forma, os TMSs têm como objetivo maximizar a eficiência da infraestrutura de transporte disponível minimizando os congestionamentos e todos danos à eles relacionados [64]. Desta forma, esta seção apresenta um estudo de caso para validar

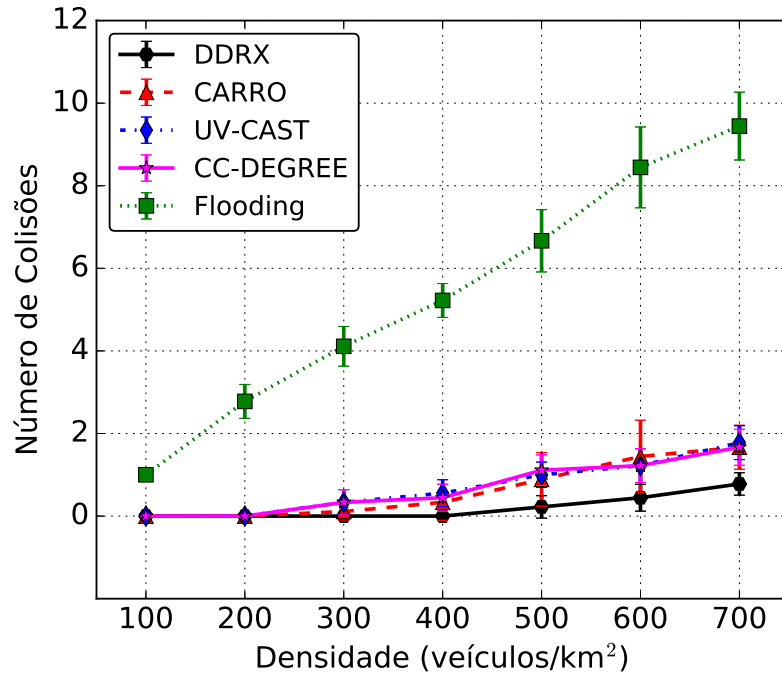


Figura 16: Número total de colisões

o funcionamento do protocolo DDRX em conjunto com uma aplicação de TMS, a qual necessita da disseminação de dados eficiente para operação.

Para este caso de uso foi considerado o TMS denominado FASTER [65], o qual tem como características principais ser totalmente distribuído e segmentar o cenário em diferentes distritos (i.e., sub-regiões) para poder agregar as informações de tráfego das vias. No FASTER, um distrito tem tamanho igual ao raio de comunicação dos veículos. Cada veículo coleta e transmite informações de velocidade média e identificação das vias em seu raio de comunicação através de *beacons*, onde as vias que estiverem por completo são denominadas totalmente cobertas e as que não estiverem são denominadas parcialmente cobertas. Na operação do FASTER, quando um veículo recebe *beacons* com informações das vias, o mesmo armazena essa informação em suas listas de conhecimento de tráfego. O veículo atualiza a informação caso possua uma entrada, e caso contrário adiciona a informação em sua lista. O veículo que estiver mais próximo ao centro do distrito inicia o processo de envio das informações de tráfego agregadas para que outros veículos também atualizem suas listas de conhecimento a fim de criar um conhecimento local do distrito. Nesta etapa, tem-se a primeira disseminação de dados realizada no FASTER.

Em seguida, como as informações de tráfego já foram disseminadas no interior de cada distrito, faz-se necessário disseminar essas informações para os demais distritos, construindo assim um conhecimento global acerca das condições de tráfego. É então que outra disseminação se inicia pelo veículo que estiver mais próximo ao centro de cada distrito, onde é feita uma verificação para que apenas veículos de outros distritos retransmitam a mensagem para não gerar redundâncias para os que já receberam as informações do distrito na primeira disseminação. O FASTER divide a disseminação de dados em duas para não ocasionar *overhead* indesejado na rede com a criação dos conhecimentos

de tráfego. Desta forma, este estudo de caso está focado na aplicação do DDRX para eliminar a primeira disseminação de dados, ou seja, a de criação do conhecimento em cada distrito, fazendo com que a disseminação do conhecimento de tráfego seja enviada para todo o cenário de uma só vez.

5.2.1 Descrição da simulação

Sendo assim, o DDRX foi integrado ao FASTER utilizando as ferramentas supracitadas na Subseção 5.1.1. Foi considerado uma região de 1 Km² do centro da cidade de Manhattan, Estados Unidos, extraída a partir da ferramenta OpenStreepMaps. Os veículos foram inseridos no cenário de forma que a densidade de veículos atinja 500, 700, 900 e 1100 veículos/km², onde nessas densidades existem congestionamentos. Cada simulação foi executada 33 vezes com diferentes sementes de aleatoriedade e os resultados apresentam os valores com um intervalo de confiança de 95%. O tempo de simulação foi de 2000 segundos.

Utilizou-se as informações de mobilidade do cenário sem aplicação de nenhum mecanismo de TMS como *baseline*, denominadas aqui como Mobilidade Original do Cenário (MOC). Foi utilizado o FASTER original, e o FASTER considerando o DDRX como forma de disseminação (FASTER-DDRX). Desta forma, para esta avaliação verificou-se o comportamento de MOC, FASTER e FASTER-DDRX em termos de cobertura (quando se aplica), número de mensagens transmitidas para criação do conhecimento de trânsito (quando se aplica), número de mensagens transmitidas para tomada de decisão acerca do gerenciamento de trânsito (quando se aplica), tempo médio de viagem, tempo médio de congestionamento e velocidade média atingida pelos veículos. A Tabela 4 resume os parâmetros utilizados na avaliação do segundo caso de uso.

Tabela 4: Parâmetros das simulações do Caso de Uso II

Parâmetro	Valor
Tempo de simulação	2000 s
Densidade de veículos	de 500 a 1100 veículos/km ²
Velocidade dos veículos	de 0 a 50.04 km/h
Tamanho do cenário	1 Km ²
Área de interesse	1 Km ²
Tecnologia de comunicação	IEEE 802.11p
Potência de transmissão	2.2 mW
Raio de comunicação	300 m
Tipo de comunicação	V2V
Taxa de bits	18 Mbits/s
Frequência de <i>beacons</i>	1 Hz
Tamanho da mensagem de conhecimento	2048 bytes
Tamanho da mensagem de gerenciamento	2048 bytes

Foram consideradas as seguintes métricas para esta avaliação: (i) *Cobertura*: reflete a porcentagem de veículos dentro da AoI que recebem a mensagem; (ii) *Número*

de Transmissões para Construção do Conhecimento de Trânsito: total de transmissões de mensagens com conhecimento das vias; (iii) *Número de Transmissões para Gerenciamento de Trânsito*: total de mensagens transmitidas para tomada de decisão do TMS; (iv) *Tempo Total de Viagem*: refere-se ao tempo total gasto pelos veículos para concluírem suas viagens; (v) *Tempo em Congestionamento*: tempo total que os veículos ficaram parados em congestionamentos; e *Velocidade Média*: refere-se a velocidade média atingida pelos veículos em seus trajetos no cenário.

5.2.2 Resultados obtidos

A Figura 17 exibe a cobertura do FASTER e do FASTER-DDRX. A cobertura está diretamente relacionada com a porcentagem do número de veículo no interior da AoI que recebem a mensagem de dados disseminada, ou seja, é ideal que os resultados fiquem próximo de 100%. Pode-se observar que a aplicação do DDRX no FASTER não afeta a taxa de cobertura atingida inicialmente, mostrando assim que o DDRX por si só é um protocolo para disseminação de dados eficiente no que se refere à entrega de dados aos veículos interessados. Tanto o FASTER quanto FASTER-DDRX atingem taxas de 98% de cobertura na menor densidade de veículos e 99% de cobertura na maior densidade avaliada.

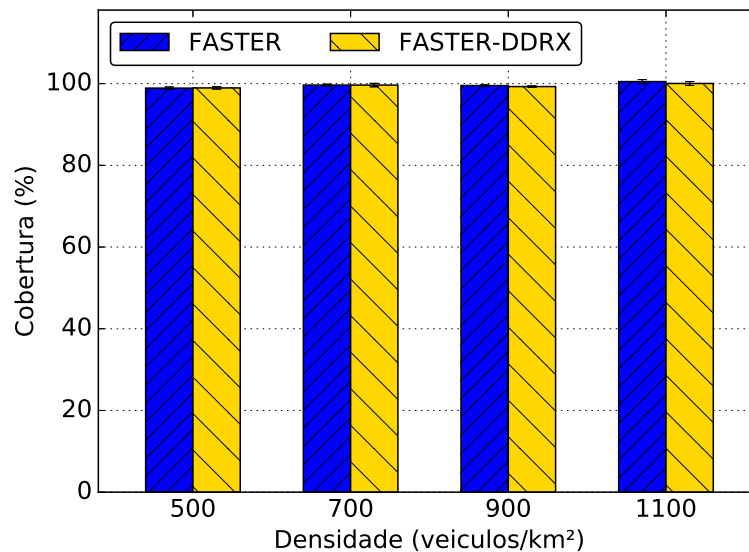


Figura 17: Porcentagem de Cobertura

A Figura 18 exibe o número de mensagens de agregação que são necessárias para construir o conhecimento acerca das condições de tráfego do cenário. Nota-se que o FASTER-DDRX dissemina mais mensagens de criação de conhecimento que o FASTER, o que é justificado pela alteração no mecanismo de envio das mensagens para criação desse conhecimento, ou seja, as mensagens são enviadas para que a rede seja inundada pelo FASTER-DDRX. A inundação da rede com mensagens de agregação não ocorria no FASTER por conta do mesmo limitar a primeira disseminação de dados apenas dentro de cada distrito. Esse problema de inundação da rede com as mensagens de agregação pode

ser contornado com a aplicação do algoritmo DDRX também nesta etapa do FASTER, já que o escopo inicial é apenas avaliar o número total de transmissões das mensagens de dados para tomada de decisão do TMS.

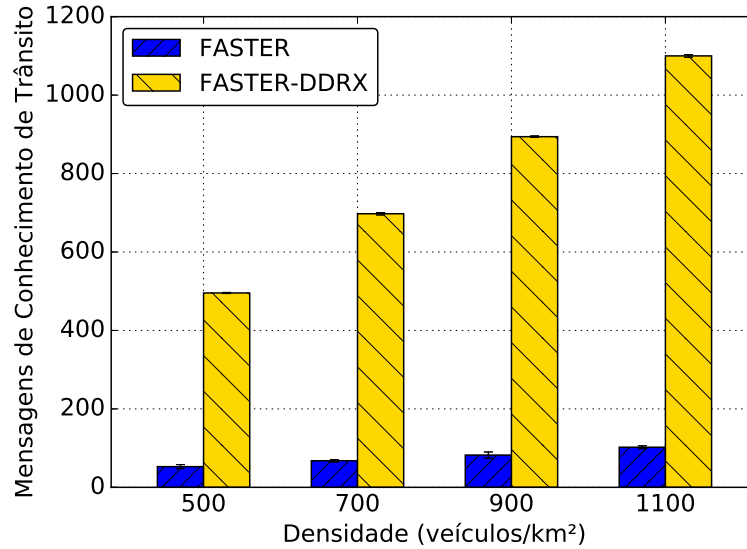


Figura 18: Número de Transmissões para Construção do Conhecimento de Trânsito

A Figura 19 exibe o número de transmissões realizadas para gerenciamento de tráfego pelo FASTER e FASTER-DDRX. Pode-se observar que o FASTER-DDRX transmite cerca de 95% menos mensagens que o FASTER. Isso deve-se pela eliminação da disseminação de dados para criar o conhecimento entre os distritos. Ou seja, o FASTER-DDRX consegue disseminar em todo o cenário as informações de tráfego das vias inserindo um menor *overhead* na rede e sem comprometer o bom funcionamento do FASTER.

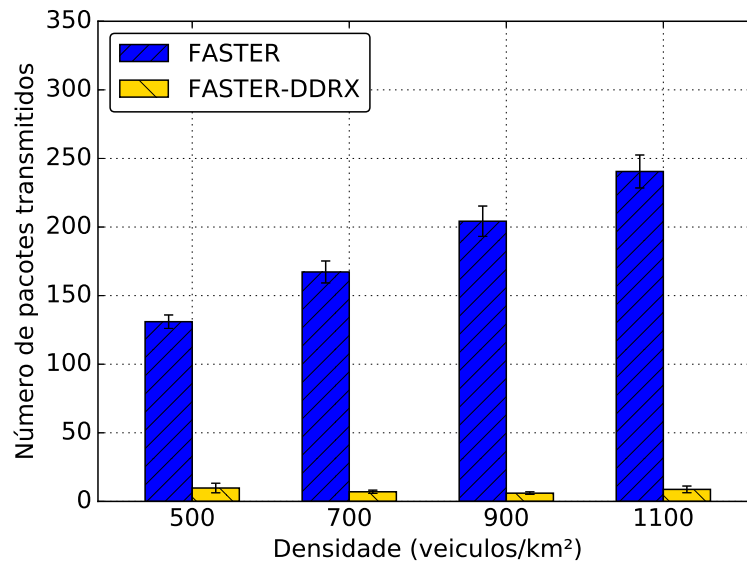


Figura 19: Número de Transmissões para Gerenciamento de Trânsito

A Figura 20 apresenta o tempo médio que os veículos levam para concluir suas viagens considerando o FASTER, FASTER-DDRX e MOC. Nesta avaliação, pode-se

observar que tanto na densidade de 700 quanto na de 1100 veículos/km², a aplicação do FASTER resulta em maior tempo de viagem em comparação a MOC e FASTER-DDRX. Por outro lado, na densidade de 700 veículos o FASTER-DDRX diminui em 1.13% o tempo médio de viagem em relação aos demais, tendo um menor tempo de viagem mais perceptível para densidade acima de 900 veículos, sendo menor 18.11% que os demais. O aumento no tempo de viagem pode ser resultado do reencaminhamento dos veículos, onde as rotas originais são substituídas por rotas mais longas com menor incidência de congestionamentos tal como pode ser observado na Figura 21.

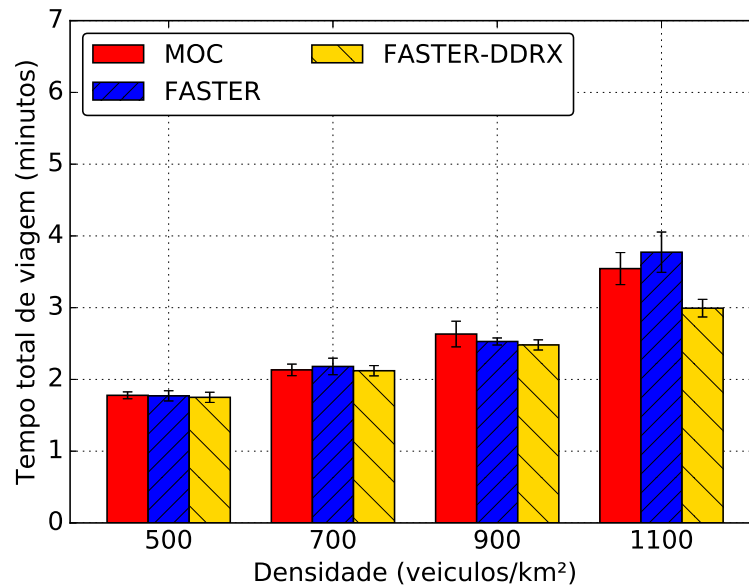


Figura 20: Tempo Total de Viagem

A Figura 21 exibe o tempo médio que os veículos ficam parados em congestionamentos. Esta avaliação é importante pois mostra a eficiência do algoritmo de roteamento de veículos em relação às condições de tráfego veicular identificadas. Pode-se perceber que com o FASTER-DDRX os veículos ficam menos tempo em congestionamentos. Nas densidades de 500, 700 e 900 veículos/km² o FASTER-DDRX tem resultados próximos ao FASTER, e ambos possuem menor tempo de congestionamento quando comparados a MOC. Já na densidade de 1100 veículos/km², o FASTER-DDRX tem resultados superiores a MOC e FASTER. Isso se justifica pela disseminação eficiente empregada no DDRX, especialmente quando a rede está mais densa e a seleção de nós retransmissores possui mais opções de candidatos. Essa análise apresenta que FASTER-DDRX possui desempenho semelhante e até superior ao FASTER, em alguns casos, reiterando a eficiência de disseminação do protocolo DDRX.

A Figura 22 exibe a velocidade média atingida pelos veículos considerando o FASTER, FASTER-DDRX e MOC. Nesta avaliação, velocidades médias superiores são indicativos de que os veículos não foram roteados para vias com alto índice de congestionamentos. Sendo assim, pode-se notar que o FASTER-DDRX atinge maiores índices de velocidade em todas as densidades, a qual decai conforme a densidade aumenta devido os maiores índices de congestionamentos. O FASTER se mantém superior ao MOC em todas

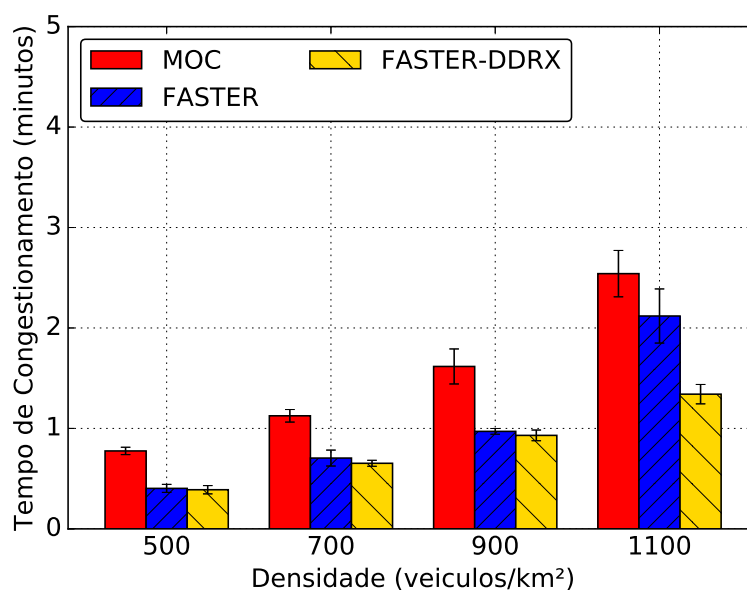


Figura 21: Tempo em Congestionamento

as densidades, pois reencaminha os veículos eficientemente para rotas menos congestionadas. As rotas que foram indicadas pelo FASTER-DDRX possuem menores índices de tráfego fazendo com que os veículos atinjam maiores velocidades e, conseqüentemente, percam menos tempo em congestionamentos, conforme já apresentado na Figura 21.

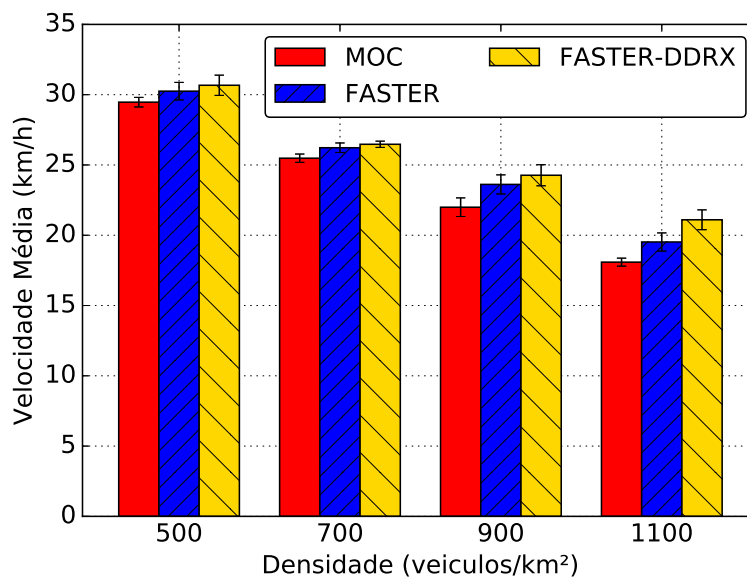


Figura 22: Velocidade Média

5.3 Conclusões do capítulo

Neste capítulo foi apresentado como o DDRX foi avaliado. Com o detalhamento dos dois casos de uso definidos, um com apenas a disseminação de dados em evidência e o outro levando em consideração o DDRX operando como parte integrada de um sistema para gerenciamento de trânsito. Os parâmetros de simulação foram descritos, bem como todas as ferramentas e cenário utilizados.

Desta forma, a partir da análise dos resultados, identificou-se que o DDRX reduz eficientemente o número de transmissões, atraso de entrega das mensagens e colisões de pacotes na camada MAC em 65.09%, 64.03% e 55.89%, quando comparado com outras soluções de disseminação de dados presentes na literatura. Ainda, identificou-se que o FASTER-DDRX reduz em 95% a quantidade de mensagens disseminadas na rede para criação do conhecimento global de tráfego, em relação ao FASTER. O FASTER-DDRX mantém tempo de viagem menor que MOC e FASTER, sendo de 18.11%, e as rotas encontradas para os veículos tiveram o menor índice de congestionamentos, ou seja, congestionamento 48.95% e 20.5% menor em relação ao MOC e FASTER, respectivamente. Isso impacta diretamente no aumento geral da velocidade média atingida pelos veículos com o FASTER-DDRX, tendo aumento de 8% e 9% em relação a FASTER e MOC, respectivamente.

CAPÍTULO 6

Conclusão

Diversas aplicações em VANETs necessitam que dados sejam disseminados na rede para execução de suas tarefas. Porém, conforme investigado pela literatura, esta é uma tarefa desafiadora devido as características específicas das VANETs, tais como, tempo curto de contato entre os veículos e mobilidade altamente dinâmica, o que resulta em mudanças constantes de sua estrutura topológica. Desta forma, para contornar tais desafios, foi apresentado o protocolo DDRX para disseminação de dados com baixo *overhead*, colisões e atraso, e que mantém alta cobertura de entrega das mensagens de dados.

No DDRX, cada veículo deve manter o conhecimento local referente a seus vizinhos distantes a 1 e 2 saltos, denominado conhecimento de vizinhança. Para isso, o protocolo toma proveito dos *beacons* que naturalmente são trocados nesse tipo de rede com a adição de alguns campos específicos para construção e manutenção desse conhecimento. Ao passo que um veículo necessita disseminar uma mensagem de dados na rede, é construído um grafo de diâmetro 2 que comporta seus vizinhos a 1 e 2 saltos. A partir do grafo criado, métricas de redes complexas são utilizadas a fim de identificar os melhores veículos para continuarem o processo de retransmissão da mensagem.

A primeira métrica utilizada foi a de Centralidade de Intermediação, que indica o nó mais central como aquele que faz parte do maior número de caminhos mínimos na rede, ou seja, é um bom mediador para o fluxo de informações. Um algoritmo de complexidade no tempo linear foi utilizada para identificação dos nós com maior índice de centralidade de intermediação. A outra métrica foi a Centralidade de Grau, que identifica o nó mais central na rede com base no número de ligações que este nó possui, ou seja, esse nó se relaciona com um alto número de outros nós, o que se torna interessante no caso de disseminação pois a partir de um único nó vários outros podem ser alcançados. As duas métricas foram combinadas a uma restrição que considera o nó mais próximo à borda

do raio de comunicação como prioritário na seleção de retransmissores e assim foi criado um limiar denominado ganho de retransmissão para ranquear os veículos candidatos a retransmissores.

Para avaliar o desempenho do DDRX, foram construídos dois casos de uso, onde o primeiro busca avaliar questões específicas de disseminação de dados e o segundo avalia seu funcionamento em conjunto a uma aplicação de gerenciamento de trânsito que necessita que dados sejam disseminados de forma eficiente para tomada de decisão. No primeiro caso de uso, o protocolo DDRX é comparado aos protocolos UV-CAST, CC-DEGREE, CARRO e *Flooding* e os resultados obtidos mostraram que o DDRX reduz o *overhead* em 65.09%, atraso médio de entrega em 64.03% e colisões de pacotes na camada MAC em 55.89%, mantendo uma taxa de cobertura em até 98%. Isso demonstra a eficiência na seleção de nós retransmissores em comparação aos outros protocolos avaliados.

Adicionalmente, o segundo caso de uso avaliou o DDRX operando em conjunto ao TMS denominado FASTER, dando origem ao FASTER-DDRX. O FASTER realiza duas disseminações de dados para operar, onde a primeira diz respeito à criação do conhecimento de trânsito e a segunda é para a gerência de trânsito propriamente dita. Os resultados mostraram que a utilização do DDRX é capaz de aumentar a eficiência do TMS, melhorando as condições de tráfego em alguns cenários avaliados e também utilização da rede em si. Em particular, o FASTER-DDRX foi capaz de reduzir a quantidade de transmissões das mensagens de gerenciamento de trânsito em 95%, reduzir o tempo que os veículos ficam presos em congestionamentos em 48.95%, tudo isso mantendo o tempo de viagem próximo das outras soluções avaliadas.

Os trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir desta pesquisa incluem:

- Adicionar outras métricas de centralidade para refinamento do DDRX;
- Considerar questões de integração com a rede LTE para roteamento das mensagens de forma híbrida em cenários V2X;
- Avaliar a integração realizada entre TMS e DDRX em densidades maiores e cenários mais realísticos, como por exemplo o trace da cidade de Colônia, Alemanha, disponibilizado através do projeto TAPASCologne [66];
- Projetar uma solução para gerenciamento de trânsito que considere inteiramente métricas de redes complexas em seu funcionamento.

6.1 Lista de publicações

Os resultados obtidos nesta dissertação foram publicados nos seguintes eventos:

1. **COSTA, J.**; LOBATO, W.; DE SOUZA, A. M.; ROSARIO, D.; VILLAS, L. A.; CERQUEIRA, E. “Centrality-based Data Dissemination Protocol for Vehicular Ad hoc Networks”. In: *Anais do IEEE International Symposium on Network Computing and Applications*. Cambridge, EUA. NCA - 2017. [33]
2. **COSTA, J.**; ROSARIO, D.; DE SOUZA, A. M.; VILLAS, L. A.; CERQUEIRA, E. “Protocolo para Disseminação de Dados em VANETs baseado em Métricas de Redes Complexas: Um Estudo de Caso com Sistema de Gerenciamento de Tráfego”. In: *Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Campos do Jordão, SP. SBRC - 2018. [67]
3. **COSTA, J.**; ROSARIO, D.; DE SOUZA, A. M.; VILLAS, L. A.; CERQUEIRA, E. “Data Dissemination Based on Complex Networks’ Metrics for Distributed Traffic Management Systems”. In: *Anais do IEEE Symposium on Computers and Communications*. Natal, RN. ISCC - 2018. [68]

Além disso, este trabalho contribuiu para a publicação do seguinte artigo:

1. LOBATO, W.; **COSTA, J.**; CERQUEIRA, E. “Avaliação Exploratória da Disseminação de Vídeos para Aplicações *See-Through* em Redes Veiculares”. In: *Anais do XXIII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS) - XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Campos do Jordão, SP. WGRS - 2018. [69]

Referências

- [1] E. Eze, S. Zhang, E. Liu, and J. Eze, “Advances in vehicular ad-hoc networks (vanets): Challenges and road-map for future development,” *International Journal of Automation and Computing*, vol. 13, no. 1, pp. 1–18, 2016.
- [2] F. Cunha, L. A. Villas, A. Boukerche, G. Maia, A. Viana, R. Mini, and A. Loureiro, “Data communication in vanets: Protocols, applications and challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 44, pp. 90–103, 2016.
- [3] X. Meng, S. Roberts, Y. Cui, Y. Gao, Q. Chen, C. Xu, Q. He, S. Sharples, and P. Bhatia, “Required navigation performance for connected and autonomous vehicles: where are we now and where are we going?” *Transportation Planning and Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 104–118, 2018.
- [4] Connecting vehicles to everything. Acessado em 10 de Janeiro de 2018. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/invention/technologies/lte/advanced-pro/cellular-v2x>
- [5] V. Silva, “Distribuição de conteúdo orientada à trajetória em redes veiculares,” *Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 2015.
- [6] R. de Sousa and A. Soares, “Estimativa e sinalização de congestionamentos de tráfego através de redes veiculares v2v,” *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2015.
- [7] E. Lee, K. Lee, M. Gerla, and S. Oh, “Vehicular cloud networking: architecture and design principles,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 148–155, 2014.
- [8] H. Costa, “Redes veiculares de emergência,” *Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa.*, 2010.
- [9] A. M. de Souza, R. S. Yokoyama, G. Maia, A. Loureiro, and L. A. Villas, “Real-time Path Planning to Prevent Traffic Jam Through an Intelligent Transportation

- System,” in *Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC'16)*. IEEE, 2016, pp. 726–731.
- [10] Y. Lv, Y. Duan, W. Kang, Z. Li, and F.-Y. Wang, “Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 2, pp. 865–873, 2015.
- [11] M. Wang, H. Shan, R. Lu, R. Zhang, X. Shen, and F. Bai, “Real-time Path Planning based on Hybrid-VANET-enhanced Transportation System,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 5, pp. 1664–1678, 2015.
- [12] F. Silva, A. Boukerche, T. Silva, L. Ruiz, E. Cerqueira, and A. Loureiro, “Vehicular networks: a new challenge for content-delivery-based applications,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 49, no. 1, p. 11, 2016.
- [13] M. Gerla, C. Wu, G. Pau, and X. Zhu, “Content distribution in vanets,” *Vehicular Communications*, vol. 1, no. 1, pp. 3–12, 2014.
- [14] F. M. Roberto, “Um mecanismo de difusão para redes vanets baseado em cinemática e teoria dos jogos.” Master’s thesis, Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará, 2010.
- [15] F. Cunha, G. Maia, C. Celes, D. Guidoni, F. de Souza, H. Ramos, and L. A. Villas, “Sistemas de transporte inteligentes: Conceitos, aplicações desafios,” in *Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'17)*, 2017.
- [16] C. Lourdes, “Aprimorando o desempenho de algoritmos de roteamento em vanets utilizando classificação,” *Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Universidade Federal de São Carlos*, 2013.
- [17] V. da Silva, M. Campista, and L. Costa, “Uma estratégia de cache proativo para distribuiç ao de conteudo em redes veiculares,” *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, 2015.
- [18] G. Dimitrakopoulos and P. Demestichas, “Intelligent transportation systems,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 77–84, 2010.
- [19] R. Yokoyama, “Estratégias de beaconing para comunicação em redes veiculares,” *Tese de Doutorado. ICMC – Universidade de São Paulo*, 2014.
- [20] F. Bai and H. Krishnan, “Reliability analysis of dsrsrc wireless communication for vehicle safety applications,” in *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE*. IEEE, 2006, pp. 355–362.
- [21] L. Villas, “Data dissemination in vehicular networks: challenges, solutions, and future perspectives,” in *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2015 7th International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 1–5.
- [22] C. Quadros, A. Santos, M. Gerla, and E. Cerqueira, “Qoe-driven dissemination of real-time videos over vehicular networks,” *Computer Communications*, vol. 91, pp. 133–147, 2016.

- [23] M. Oche, R. Noor, and C. Chembe, “Multivariate statistical approach for estimating qoe of real-time multimedia applications in vehicular its network,” *Computer Communications*, 2017.
- [24] M. Chaqfeh, A. Lakas, and I. Jawhar, “A survey on data dissemination in vehicular ad hoc networks,” *Vehicular Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 214–225, 2014.
- [25] A. Akabane, R. Pazzi, E. Madeira, and L. A. Villas, “CARRO: A Context-Awareness Protocol for Data Dissemination in Urban and Highway Scenarios,” in *Proceedings of the 8th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM’16)*. IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [26] H. Zhang and J. Li, “Topology analysis of vanet based on complex network,” in *LISS 2014*. Springer, 2015, pp. 1143–1148.
- [27] F. S. Silva, D. L. Moura, and R. S. Cabral, “Modelagem e caracterização de redes veiculares utilizando-se grafos temporais e métricas de redes complexas,” in *XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2017.
- [28] M. E. Newman, “The structure and function of complex networks,” *SIAM review*, vol. 45, no. 2, pp. 167–256, 2003.
- [29] D. Alvarenga, F. D. da Cunha, A. C. Viana, R. A. Mini, and A. A. Loureiro, “Classificando comportamentos sociais em redes veiculares,” in *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC’14)*, May 2014.
- [30] J. Wang, C. Jiang, K. Zhang, T. Q. Quek, Y. Ren, and L. Hanzo, “Vehicular sensing networks in a smart city: Principles, technologies and applications,” *IEEE Wireless Communications*, 2017.
- [31] A. M. Vegni and V. Loscri, “A survey on vehicular social networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2397–2419, 2015.
- [32] L. A. Villas, A. Boukerche, G. Maia, R. Pazzi, and A. Loureiro, “Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks,” *Computer Networks*, vol. 75, pp. 381–394, 2014.
- [33] J. Costa, W. Lobato, A. M. de Souza, D. Rosário, L. A. Villas, and E. Cerqueira, “Centrality-based data dissemination protocol for vehicular ad hoc networks,” in *2017 IEEE 16th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)*. IEEE, 2017, pp. 1–4.
- [34] A. M. de Souza, N. L. da Fonseca, and L. Villas, “A fully-distributed advanced traffic management system based on opportunistic content sharing,” in *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [35] R. Monteiro, W. Viriyasitavat, S. Sargento, and O. K. Tonguz, “A graph structure approach to improving message dissemination in vehicular networks,” *Wireless Networks*, vol. 23, no. 7, pp. 2145–2163, 2017.
- [36] B. Albert-László, “Linked: how everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life,” *New York: Plume Editors*, 2003.

- [37] D. R. Figueiredo, “Introdução a redes complexas,” *Atualizações em Informática*, pp. 303–358, 2011.
- [38] J. Metz, R. Calvo, E. R. Seno, R. A. Romero, and Z. Liang, “Redes complexas: conceitos e aplicações,” ICMC-USP São Carlos, Tech. Rep., 2007.
- [39] A. Avena-Koenigsberger, B. Misic, and O. Sporns, “Communication dynamics in complex brain networks,” *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 19, no. 1, p. 17, 2018.
- [40] M. Newman, *Networks: an introduction*. Oxford university press, 2010.
- [41] S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, and D.-U. Hwang, “Complex networks: Structure and dynamics,” *Physics reports*, vol. 424, no. 4-5, pp. 175–308, 2006.
- [42] E. M. Borba, “Medidas de centralidade em grafos e aplicações em redes de dados,” Master’s thesis, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- [43] L. Q. de Freitas, “Medidas de centralidade em grafos,” Master’s thesis, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- [44] T. Opsahl, F. Agneessens, and J. Skvoretz, “Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths,” *Social networks*, vol. 32, no. 3, pp. 245–251, 2010.
- [45] F. Jamour, S. Skiadopoulos, and P. Kalnis, “Parallel algorithm for incremental betweenness centrality on large graphs,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2017.
- [46] M. Kas, S. Appala, C. Wang, K. M. Carley, L. R. Carley, and O. K. Tonguz, “What if wireless routers were social? approaching wireless mesh networks from a social networks perspective,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 6, 2012.
- [47] F. Ros, P. Ruiz, and I. Stojmenovic, “Acknowledgment-based Broadcast protocol for Reliable and Efficient Data Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 11, no. 1, pp. 33–46, 2012.
- [48] W. Viriyasitavat, F. Bai, and O. Tonguz, “UV-CAST: an Urban Vehicular Broadcast Protocol,” in *Proceedings of the IEEE Vehicular Networking Conference (VNC’10)*. IEEE, 2010, pp. 25–32.
- [49] R. I. Meneguette, G. Maia, E. R. Madeira, A. R. Pinto, A. A. Loureiro, and L. A. Villas, “Um algoritmo autônomo para disseminação de informações em redes veiculares,” in *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC’14)*, 2014.
- [50] F. Cunha, G. Maia, A. Viana, R. Mini, L. A. Villas, and A. Loureiro, “Socially inspired data dissemination for vehicular ad hoc networks,” in *Proceedings of the 17th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. ACM, 2014, pp. 81–85.

- [51] E. M. Daly and M. Haahr, “Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant manets,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 8, no. 5, pp. 606–621, 2009.
- [52] A. Cuzzocrea, A. Papadimitriou, D. Katsaros, and Y. Manolopoulos, “Edge betweenness centrality: A novel algorithm for qos-based topology control over wireless sensor networks,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, no. 4, pp. 1210–1217, 2012.
- [53] L. Wang, F. Yang, L. Zhuang, H. Cui, F. Lv, and X. Feng, “Articulation points guided redundancy elimination for betweenness centrality,” in *Proceedings of the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming*. ACM, 2016, p. 7.
- [54] L. Tian, A. Bashan, D.-N. Shi, and Y.-Y. Liu, “Articulation points in complex networks,” *Nature Communications*, vol. 8, 2017.
- [55] M. Gerla, C. Wu, G. Pau, and X. Zhu, “Content Distribution in VANETs,” *Vehicular Communications*, vol. 1, no. 1, pp. 3–12, 2014.
- [56] O. Rehman, M. Ould-Khaoua, and H. Bourdouce, “An adaptive relay nodes selection scheme for multi-hop broadcast in vanets,” *Computer Communications*, vol. 87, pp. 76–90, 2016.
- [57] R. Oliveira, C. Montez, A. Boukerche, and M. S. Wingham, “Reliable data dissemination protocol for vanet traffic safety applications,” *Ad Hoc Networks*, 2017.
- [58] E. Prestes, “Introdução à teoria dos grafos,” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Departamento de Informática Teórica, Tech. Rep., 2016.
- [59] L. C. Freeman, “A set of measures of centrality based on betweenness,” *Sociometry*, pp. 35–41, 1977.
- [60] T. Rebedea. Algorithm design and complexity - course 8 - strongly connected components. Acessado em 18 de Agosto de 2017. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/TraianRebedea/algorithm-design-and-complexity-course-8>
- [61] R. Tarjan, “Depth-first search and linear graph algorithms,” *SIAM journal on computing*, vol. 1, no. 2, pp. 146–160, 1972.
- [62] Function atan2 - compute arc tangent with two parameters. Acessado em 20 de Agosto de 2017. [Online]. Available: <http://www.cplusplus.com/reference/cmath/atan2/>
- [63] A. M. de Souza, C. A. Brennand, R. S. Yokoyama, E. A. Donato, E. R. Madeira, and L. A. Villas, “Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 4, pp. 1–14, 2017.

- [64] A. M. de Souza, L. C. Botega, and L. A. Villas, “GTE: Um Sistema para Gerenciamento de Trânsito Escalável baseado em Compartilhamento Oportunista,” in *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC’17)*, 2017.
- [65] A. M. de Souza and L. A. Villas, “A Fully-distributed Traffic Management System to Improve the Overall Traffic Efficiency,” in *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM’16)*, 2016, pp. 19–26.
- [66] Tapascologne scenario. Acessado em 15 de janeiro de 2018. [Online]. Available: <http://sumo.dlr.de/wiki/Data/Scenarios/TAPASCologne>
- [67] J. Costa, D. Rosário, A. M. de Souza, L. A. Villas, and E. Cerqueira, “Protocolo para disseminação de dados em vanets baseado em métricas de redes complexas: Um estudo de caso com sistema de gerenciamento de trânsito,” in *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, vol. 36, 2018.
- [68] J. Costa, D. Rosario, A. M. de Souza, L. A. Villas, and E. Cerqueira, “Data dissemination based on complex networks metrics’ for distributed traffic management systems,” in *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2018.
- [69] W. L. Junior, J. Costa, and E. Cerqueira, “Avaliação exploratória da disseminação de videos para aplicações see-through em redes veiculares,” in *Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)*, vol. 23, 2018.