

UM PROTOCOLO DE DISSEMINAÇÃO DE
DADOS ADAPTATIVO PARA REDES
VEICULARES

RODRIGO BORGES SOARES

UM PROTOCOLO DE DISSEMINAÇÃO DE
DADOS ADAPTATIVO PARA REDES
VEICULARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: ANTONIO ALFREDO FERREIRA LOUREIRO
COORIENTADOR: EDUARDO FREIRE NAKAMURA

Belo Horizonte
Fevereiro de 2014

© 2014, Rodrigo Borges Soares.
Todos os direitos reservados.

Soares, Rodrigo Borges

S676p Um Protocolo de Disseminação de Dados Adaptativo para Redes Veiculares / Rodrigo Borges Soares. — Belo Horizonte, 2014.
xxii, 52. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Ciência da Computação.

Orientador: Antonio Alfredo Ferreira Loureiro
Coorientador: Eduardo Freire Nakamura

1. Computação - Teses. 2. Redes de computadores - Teses. I. Orientador. II. Coorientador. III. Título.

CDU 519.6*22 (043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

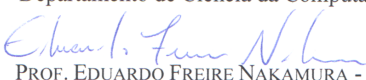
FOLHA DE APROVAÇÃO


Um protocolo de disseminação de dados adaptativo para redes veiculares


RODRIGO BORGES SOARES

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


PROF. ANTONIO ALFREDO FERREIRA LOUREIRO - Orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


PROF. EDUARDO FREIRE NAKAMURA - Coorientador
Departamento de Ciência da Computação - UFAM


PROF. DANIEL LUDOVICO GUIDONI
Departamento de Ciência da Computação - UFSJ


PROFA. RAQUEL APARECIDA DE FREITAS MINI
ICEI - PUC-MG

Belo Horizonte, 21 de fevereiro de 2014.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e família, os quais sempre me apoiaram e deram a força mais que necessária para eu continuar em busca dos meus sonhos.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família. O apoio de todos foi de fundamental importância para que eu embarcasse nessa difícil jornada em busca de novos aprendizados e meu desenvolvimento profissional e pessoal. Muito obrigado a meu pai, Izildo, à minha mãe, Socorro e ao meu irmão, Rafael. Obrigado também às avós, avôs, tios e tias por tudo!

Agradeço aos meus amigos, grandes companheiros que mesmo de longe não me deixaram desanimar e estiveram sempre ao meu lado nos momentos difíceis. Obrigado meu grande amigo, xará e companheiro de viagens e aventuras profissionais Rodrigo. Essa é a prova de que nem a distância consegue separar uma grande amizade. Obrigado aos amigos Alessandro e Samuel por todos os momentos que passamos juntos nesses 2 anos. A vida em Belo Horizonte teria sido bem mais difícil se não tivesse a companhia de vocês diariamente, seja ouvindo reclamações de vizinhos, jogando videogame ou saindo para algum bar na Savassi. Agradeço também aos incríveis amigos que fiz e responsáveis também pelos ótimos momentos que passei nesta cidade: Alex de Sá, Felipe Domingos, Laura Antuña, Evellyn Cavalcante, Luiz Oliveira e a todos os outros que fizeram parte da minha vida nos últimos anos.

Gostaria de agradecer à minha “doutoranda-orientadora” Anna Tostes, a qual contribuiu imensamente para a definição e resultados do meu trabalho, sempre me motivando a melhorá-lo e dando força para continuar. Gostaria de agradecer ao meu orientador professor Antonio Loureiro por toda a ajuda e conselhos durante esses meses de muito trabalho. Obrigado ao meu coorientador professor Eduardo Nakamura, que contribui para minha formação desde os tempos da graduação, apoiando minhas escolhas e me dando força para continuar a minha jornada. Sem dúvida uma das pessoas indispensáveis na definição do profissional que sou hoje.

*“And in the end,
The love you take
Is equal to
The love you make.”*
(Lennon, McCartney)

Resumo

Protocolos de disseminação de dados para redes veiculares levam em conta a topologia da rede para criar caminhos de disseminação conectados. No entanto, a topologia muda constantemente devido ao comportamento dinâmico dos cenários veiculares, o que contribui para aumentos na taxa de *overhead* e atraso de entrega. Visando criar um protocolo facilmente adaptável à dinamicidade dos cenários veiculares e tratar outros desafios da disseminação de dados, este trabalho propõe o TODD (*Traffic-Oriented Data Dissemination*), um protocolo de disseminação de dados adaptativo para redes veiculares. Ele leva em consideração informações de tráfego em tempo real para escolher os melhores veículos retransmissores de pacotes. Este processo é feito através de uma métrica calculada por cada veículo candidato, podendo priorizar características específicas como distância ao destino e velocidade, baseando-se no estado atual do tráfego de veículos. Além disso, propõe-se uma versão centralizada do TODD (CTODD) para quando as informações de tráfego não estiverem disponíveis a todos os veículos. Nesta versão, estações fixas em interseções são responsáveis por analisar o tráfego e disseminar pacotes. Simulações foram realizadas em cenários baseados em *grid* e no centro de Belo Horizonte, com densidade variável de veículos. Os resultados mostram que os protocolos propostos conseguem entregar até 55% mais pacotes com sucesso, gerando até 97% menos *overhead* causado por pacotes de controle quando comparados a outros importantes protocolos da literatura. Além disso, os protocolos propostos apresentaram, em média, menor atraso de entrega quando comparados a protocolos específicos em ambos os cenários avaliados.

Palavras-chave: Redes Veiculares, Computação Ubíqua, Protocolos de Roteamento.

Abstract

Data dissemination protocols for vehicular networks take into account the network topology to create connected dissemination paths. However, the network topology changes constantly due to the dynamic behavior of vehicular scenarios, leading to increases in overhead rate, delivery delay and packet losses. Aiming at developing a protocol easily adaptable to dynamic vehicular scenarios, we propose TODD – an adaptive Traffic-Oriented Data Dissemination protocol. It uses real-time traffic information to dynamically choose the best relay vehicles. This process is done by analyzing a metric that is computed for each candidate vehicle, which may emphasize to specific vehicle characteristics, such as speed and distance to destination, based on the current traffic information. In addition, a centralized version of TODD (CTODD) is proposed to deal with the lack of real-time traffic information stored in the vehicles. In CTODD, fixed stations located in intersections are responsible for gathering and analyzing vehicle traffic information and disseminating data packets. Simulations scenarios were based on a grid and the downtown of Belo Horizonte, varying vehicle density. The results show that the proposed protocols can successfully deliver up to 55% more packets, generating up to 97% less overhead caused by control packets, compared to other important state-of-art protocols. Moreover, the proposed protocols showed, on average, lower delivery delay compared to specific protocols in both evaluated scenarios.

Keywords: Vehicular Networks, Ubiquitous Computing, Routing protocols.

Lista de Figuras

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Ilustração do funcionamento do TODD. | 23 |
| 3.2 | Exemplos ilustrando cenários onde cada fator da métrica pode ter maior impacto na disseminação. | 29 |
| 3.3 | Resultados dos experimentos de ajuste de coeficientes da métrica. | 31 |
| 4.1 | Ilustração de parte do cenário de grid. | 34 |
| 4.2 | Região na qual o cenário de Belo Horizonte foi baseado. | 34 |
| 4.3 | Taxa média de entrega de pacotes no cenário de <i>grid</i> | 37 |
| 4.4 | Atraso médio de entrega de pacotes no cenário de <i>grid</i> | 38 |
| 4.5 | <i>Overhead</i> causado por pacotes de controle no cenário de <i>grid</i> | 40 |
| 4.6 | Taxa média de entrega de pacotes no cenário de Belo Horizonte. | 41 |
| 4.7 | Atraso médio de entrega de pacotes no cenário de Belo Horizonte. | 42 |
| 4.8 | <i>Overhead</i> causado por pacotes de controle no cenário de Belo Horizonte. | 43 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Resumo das Abordagens | 19 |
| 3.1 | Categorias dos Coeficientes | 30 |
| 4.1 | Características dos Veículos Utilizados nos Experimentos | 35 |
| 4.2 | Parâmetros de Simulação | 36 |

Sumário

| | |
|---|----------|
| Agradecimentos | ix |
| Resumo | xiii |
| Abstract | xv |
| Lista de Figuras | xvii |
| Lista de Tabelas | xix |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Contexto | 1 |
| 1.1.1 Redes Veiculares | 1 |
| 1.2 Motivação e Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Motivação | 2 |
| 1.2.2 Objetivos | 3 |
| 1.3 <i>Traffic-Oriented Data Dissemination</i> | 3 |
| 1.4 Organização do Trabalho | 4 |
| 2 Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados | 5 |
| 2.1 O Problema da Disseminação de Dados | 5 |
| 2.2 Principais Desafios | 6 |
| 2.2.1 Diferentes Tipos de Ambientes Veiculares | 6 |
| 2.2.2 <i>Broadcast Storm</i> | 6 |
| 2.2.3 Partição da Rede | 7 |
| 2.2.4 Fragmentação Temporária da Rede | 7 |
| 2.3 Trabalhos Relacionados | 8 |
| 2.3.1 Técnicas Utilizadas Durante a Disseminação de Dados | 8 |
| 2.3.2 Abordagens de Disseminação de Dados em Redes Veiculares | 9 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3.3 | Discussão | 15 |
| 3 | Protocolo <i>Traffic-Oriented Data Dissemination</i> | 21 |
| 3.1 | Suposições | 21 |
| 3.2 | TODD - <i>Traffic-Oriented Data Dissemination</i> | 22 |
| 3.3 | CTODD - <i>Centralized Traffic-Oriented Data Dissemination</i> | 24 |
| 3.3.1 | Estações fixas e tabelas de vizinhos | 24 |
| 3.3.2 | Disseminação de Dados | 24 |
| 3.4 | Método de Seleção Dinâmica de Próximos Veículos Retransmissores | 25 |
| 3.4.1 | Troca de Pacotes RTS e CTS | 25 |
| 3.4.2 | Cálculo da Métrica para Escolha do Próximo Veículo Retransmissor | 27 |
| 3.4.3 | Experimentos de Ajuste de Coeficientes de Peso da Métrica | 29 |
| 4 | Simulação e Resultados | 33 |
| 4.1 | Metodologia de Simulação | 33 |
| 4.2 | Resultados | 36 |
| 4.2.1 | Cenário de <i>Grid</i> | 36 |
| 4.2.2 | Cenário de Belo Horizonte | 40 |
| 5 | Conclusão e Trabalhos Futuros | 45 |
| 5.1 | Conclusão | 45 |
| 5.2 | Limitações | 46 |
| 5.3 | Trabalhos Futuros | 46 |
| | Referências Bibliográficas | 49 |

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

1.1.1 Redes Veiculares

Serviços de Transporte Inteligente (ITS, sigla em inglês para *Intelligent Transportation Systems*) [Alves et al., 2009] monitoram as condições do tráfego em um ambiente veicular. Redes Veiculares (VANETs, do inglês, *Vehicular Networks*) são a parte de um ITS que promove a comunicação cooperativa sem fio entre veículos e estações fixas. As principais aplicações das VANETs são soluções de segurança, como sistemas anti-colisão, direção cooperativa e disseminação de informações de trânsito; aplicações comerciais, como disseminação de publicidade baseada em geolocalização; e entretenimento, como jogos, vídeos e conexão ubíqua à Internet [Li & Wang, 2007].

Neste tipo de rede, há quatro formas principais de comunicação: (i) *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), (ii) *Intra-Vehicle*, (iii) *Vehicle-to-Road Infrastructure* (V2I) and (iv) *Vehicle-to-Broadband Cloud* (V2B) [Faezipour et al., 2012]. A comunicação V2V oferece uma plataforma para a troca de dados entre os veículos e implementação de aplicações como assistência ao motorista e envio de mensagens de aviso. A comunicação *Intra-Vehicle* se refere à comunicação entre sensores internos de um veículo, tais como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e sensores de velocidade e pressão dos pneus. A comunicação V2I é realizada entre os veículos e estações fixas distribuídas pelo cenário. Essa plataforma oferece um ambiente de monitoramento que pode ser utilizado para avisar os motoristas sobre condições do tráfego de veículos e qualidade das vias em determinadas regiões do cenário. Por fim, a comunicação V2B tem se tornado cada vez mais viável com a popularização de tecnologias como 3G e 4G. Através da comunicação V2B é possível, por exemplo, implementar um centro de monitoramento de trânsito

acessível por todos os veículos da rede, oferecendo uma base para a implementação de diversas aplicações.

Diferente das tradicionais redes *ad hoc*, os nós das redes veiculares apresentam altas taxas de mobilidade e velocidade, contribuindo para a constante ocorrência de conexões intermitentes. Além disso, devido ao número elevado de aplicações de segurança, é necessário que a comunicação sem fio seja realizada com baixa latência. No entanto, VANETs apresentam alguns fatores que podem ajudar no desenvolvimento de novas aplicações. Os veículos apresentam um padrão de mobilidade que é derivado do formato das ruas do cenário e das direções das vias. Quando esta informação é integrada com mapas digitais e geolocalização, é possível prever a movimentação dos veículos. Além disso, os veículos tendem a se mover em grupos, devido semáforos e problemas de trânsito, e há a possibilidade de utilização de sensores internos dos veículos como GPS e velocidade [Ranjan & Ahirwar, 2011].

1.2 Motivação e Objetivos

1.2.1 Motivação

O problema da disseminação de dados é um dos principais desafios das VANETs. Ele consiste em como enviar dados de um veículo origem a um destino enquanto são levados em conta requisitos de qualidade das aplicações, tais como alta taxa de entrega de pacotes, curto atraso de entrega e baixo sobrecarregamento da rede (*overhead*) [Wu et al., 2004]. A disseminação de dados é a base para a implementação de diversas aplicações, tais como: disseminação de informações sobre o tráfego de veículos, direção cooperativa, disseminação de publicidade, jogos, disseminação de vídeos, entre outros.

Devido ao comportamento dinâmico das VANETs, protocolos encontram vários problemas durante a disseminação. Um dos principais problemas é causado pela variação de densidade de veículos no cenário veicular, comprometendo a performance de soluções que funcionam apenas em cenários específicos, como densos e esparsos. Além disso, há três desafios principais que devem ser levados em conta: *broadcast storm*, partição e fragmentação da rede. Nesse contexto, há protocolos que propõem a descoberta de caminhos de disseminação baseados na topologia de rede, antes de enviar os pacotes de dados [Chang et al., 2011; Chou et al., 2011]. Como a topologia da rede muda constantemente, procedimentos para atualização das rotas são necessários, principalmente em cenários esparsos, resultando em aumentos na taxa de *overhead*, atraso de entrega e perda de pacotes.

1.2.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um novo método que permita que protocolos de disseminação de dados adaptem facilmente suas operações de acordo com o estado do tráfego de veículos. Isto deve ser feito de forma que não haja gasto excessivo de recursos da rede como acontece em protocolos baseados em topologia. Além disso, é necessário utilizar técnicas que evitem o problema de *broadcast storm* e tratem as características de partição e fragmentação da rede veicular.

1.3 *Traffic-Oriented Data Dissemination*

Para lidar com esses problemas, este trabalho propõe o TODD (*Traffic-Oriented Data Dissemination*) e o CTODD (*Centralized Traffic-Oriented Data Dissemination*), protocolos adaptativos de disseminação de dados para redes veiculares. A principal característica deles é utilizar informações de tráfego em tempo real para adaptar suas decisões de disseminação, visando obter bons resultados independentemente do cenário veicular. Uma nova abordagem adaptativa para a seleção de veículos que participam da disseminação é proposta, onde cada veículo candidato calcula uma métrica, a qual é utilizada para eleger o melhor veículo vizinho para receber os pacotes de dados.

A maior contribuição deste trabalho é a forma como a métrica é calculada e sua adaptabilidade a diferentes cenários veiculares. Ela é calculada usando três fatores: distância ao destino, velocidade e densidade de veículos na rua em que o veículo está localizado. Além disso, sua estrutura permite que coeficientes de pesos sejam atribuídos dinamicamente para cada fator, baseado no tráfego de veículos. Isso torna possível adaptar as operações do protocolo facilmente, dando maior preferência a certos fatores de acordo com o cenário. Experimentos foram realizados para determinar os melhores valores dos coeficientes de peso para cada cenário utilizado, isto é, para atestar quais fatores são mais importantes e contribuem para melhores resultados de disseminação, outra importante contribuição do trabalho.

O que diferencia os dois protocolos propostos é a forma como as informações em tempo real do tráfego são obtidas. A principal suposição do TODD é que todos os veículos carregam bancos de dados referentes ao tráfego de veículos. Várias fontes *online* de informações de trânsito têm surgido e se tornado cada vez mais confiáveis, baseadas em sensores instalados nas ruas, câmeras e até mesmo redes sociais [Huzita et al., 2012]. Na prática, as bases de dados armazenadas nos veículos podem ser alimentadas utilizando tais fontes. Por outro lado, a suposição do CTODD é de que essas fontes de informações não estão disponíveis a todos os veículos. Assim, propõe-

se uma estrutura baseada em estações fixas instaladas nas interseções para coletar informações sobre o tráfego de veículos e selecionar os próximos retransmissores dos pacotes.

Simulações foram realizadas em dois tipos de cenários: um *grid* e outro baseado na região central de Belo Horizonte. Cada um dos cenários possui duas versões, densa e esparsa, de acordo com a quantidade de veículos gerados. Focou-se em criar cenários bastante dinâmicos, com diferentes tipos de veículos, para avaliar a adaptabilidade dos protocolos. As seguintes métricas foram avaliadas: (a) taxa de entrega de pacotes; (b) atraso de entrega; e (c) *overhead* causado por pacotes de controle. Os resultados mostram que o TODD e CTODD conseguem entregar até 55% mais pacotes com sucesso, gerando até 97% menos *overhead* causado por pacotes de controle quando comparados a outros importantes protocolos da literatura. Além disso, os protocolos propostos apresentaram, em média, menor atraso de entrega quando comparados a protocolos específicos em ambos os cenários avaliados.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho é organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica e uma discussão sobre o estado-da-arte e trabalhos relacionados. O capítulo 3 descreve o funcionamento do TODD e do CTODD, onde a técnica de seleção dinâmica de veículos retransmissores proposta por este trabalho é explicada. O capítulo 4 apresenta a metodologia de simulação e uma análise dos resultados dos experimentos. Por fim, o capítulo 5 apresenta as principais conclusões, limitações e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

2.1 O Problema da Disseminação de Dados

O problema da disseminação de dados consiste em como enviar dados de uma origem a um destino, enquanto as restrições de qualidade das aplicações são levadas em conta, como alta taxa de entrega e curto atraso de entrega [Wu et al., 2004]. O destino pode ser um conjunto de veículos, veículos localizados dentro de uma região geográfica ou estações fixas. A partir disso, os protocolos de disseminação podem ser divididos em três categorias: *Unicast*, *Geocast/Multicast* e *Broadcast* [Chen et al., 2008].

Protocolos *Unicast* procuram realizar o envio de dados de uma única origem a um único destino. Entre suas principais aplicações, estão a direção cooperativa, disseminação de avisos sobre estado do trânsito e publicidade. Em protocolos *Geocast/Multicast*, os dados são enviados a um conjunto de veículos localizados ou não na mesma região geográfica. Este tipo de protocolo pode ser utilizado para avisar veículos localizados em uma área de interesse a respeito de algum evento de trânsito, como congestionamentos e acidentes. Por fim, protocolos *Broadcast* visam enviar os dados a todos os veículos vizinhos do emissor. Os protocolos *Broadcast* são importantíssimos para aplicações de segurança, onde os veículos próximos a um dado evento devem ser informados o mais rápido possível.

Protocolos de roteamento e disseminação de dados desenvolvidos para redes *ad hoc* tradicionais [Karp & Kung, 2000; Perkins & Royer, 1999] sofrem uma crítica queda de performance quando aplicados em ambientes veiculares [Li & Wang, 2007]. Em cenários veiculares, os protocolos devem lidar com diferentes problemas causados pelo

comportamento dinâmico. Por exemplo, a topologia da rede é temporária e a partição da rede leva ao aumento no atraso de entrega e perda de pacotes. Além disso, protocolos baseados em *broadcast* podem causar o problema de *broadcast storm*, que leva a um alto tráfego e perda de pacotes. Portanto, o maior desafio é desenvolver um protocolo adaptável a diferentes ambientes veiculares, como cenários urbanos e rurais. Por exemplo, em cenários urbanos a densidade de veículos ao longo das ruas varia bastante durante o dia, enquanto que em cenários rurais, a densidade tende a se manter baixa durante a maior parte do tempo.

No entanto, as VANETs apresentam alguns fatores que podem ajudar no processo de disseminação, como o padrão de mobilidade dos veículos, limitado pelo formato das ruas [Ranjan & Ahirwar, 2011], a tendência dos veículos se movimentarem em grupos, a integração com sensores instalados nos veículos, como o GPS, e o uso de informações históricas e em tempo real do tráfego de veículos [Xue et al., 2009].

2.2 Principais Desafios

2.2.1 Diferentes Tipos de Ambientes Veiculares

O maior desafio da disseminação de dados em ambientes veiculares é como adaptar o funcionamento do protocolo de acordo com diferentes cenários onde a rede é criada. Uma cidade pode apresentar ambientes veiculares com diferentes características, como por exemplo, ambientes urbanos, rurais e de estrada.

Cada ambiente implica um comportamento de tráfego de veículos diferente. Por exemplo, um ambiente urbano é caracterizado por um grande número de veículos, resultando em uma rede densa. Por outro lado, um ambiente rural apresenta menor densidade de veículos, caracterizando uma rede esparsa. Uma solução que foi criada visando redes esparsas pode causar uma alta taxa de *overhead* quando aplicada em uma rede densa. Por outro lado, uma solução de disseminação para ambientes urbanos pode obter uma queda de performance quando aplicada em um ambiente rural, devido a falta de veículos. Dessa forma, uma boa solução é checar o contexto no qual os protocolos estão operando, isto é, as características do cenário, antes de tomar decisões de disseminação.

2.2.2 *Broadcast Storm*

O problema de *broadcast storm* é causado por protocolos baseados na técnica *flooding* [Ni et al., 1999]. Nesses protocolos, quando um nó deseja retransmitir um pacote, ele

o envia para todos os seus vizinhos. Em seguida, cada vizinho participa do processo de disseminação, retransmitindo o pacote. Esse comportamento pode causar colisão de pacotes e uma alta taxa de congestionamento da rede, resultando em um aumento no número de colisão de pacotes.

Para amenizar os efeitos causados por esse tipo de técnica, muitos protocolos utilizam uma abordagem em que apenas um ou um pequeno grupo de vizinhos é selecionado para participar da disseminação. Por exemplo, alguns protocolos baseados em localização enviam pacotes para vizinhos que estão mais próximos do destino do pacote [Karp & Kung, 2000], em comparação à posição do veículo emissor. Outros utilizam técnicas nas quais apenas os veículos mais distantes, dentro do alcance do sinal do emissor, participam da disseminação [Korkmaz et al., 2004; Fasolo et al., 2006].

2.2.3 Partição da Rede

O problema de partição da rede se refere ao fato de que, no ambiente veicular, os veículos tendem a se movimentar em grupos e estes grupos não possuem conexão entre si [Nzouonta et al., 2008]. Dessa forma, durante a disseminação, os pacotes podem chegar a um veículo que não possui um ou mais vizinhos adequados para retransmiti-los.

Uma solução popular para esse problema é a técnica *carry-and-forward* [Ding & Xiao, 2010], na qual pacotes que não podem ser retransmitidos são armazenados em um *buffer* interno até que haja um momento propício para retransmiti-los. Em redes veiculares, um momento propício pode ser a detecção de um novo veículo vizinho que possui características favoráveis para o recebimento do pacote, como localização e direção.

2.2.4 Fragmentação Temporária da Rede

Devido ao comportamento dinâmico das VANETs, a topologia da rede é temporária, isto é, os veículos mantêm conectividade uns com os outros durante um curto período de tempo [Lin et al., 2010]. Assim, além da rede veicular ser particionada em grupos desconectados de veículos, estes grupos permanecem em conexão por pouco tempo.

Em protocolos de disseminação de dados, uma solução para esse problema pode ser manter e descobrir periodicamente rotas alternativas de disseminação [Chang et al., 2011; Nzouonta et al., 2008]. No entanto, para fazer isso, um protocolo precisa transmitir um alto número de pacotes de controle, causando um aumento no *overhead* da rede ou até mesmo o problema de *broadcast storm*.

2.3 Trabalhos Relacionados

2.3.1 Técnicas Utilizadas Durante a Disseminação de Dados

2.3.1.1 Troca de Pacotes RTS e CTS

A troca de pacotes RTS (*Request-To-Broadcast*) e CTS (*Clear-To-Broadcast*) é uma técnica de controle de fluxo utilizada para eleger veículos vizinhos de um nó emissor para continuarem a disseminação de pacotes [Nzouonta et al., 2008]. Com esta técnica, é possível evitar o envio excessivo de pacotes *Hello* para manter tabelas atualizadas com informações de vizinhos, o que pode aumentar o *overhead* em redes densas e dinâmicas, como as VANETs.

Quando um veículo A deseja retransmitir um pacote de dados p , ele envia, por *broadcast*, um pacote RTS para eleger o vizinho que continuará a transmissão. Quando um vizinho B recebe o pacote RTS, ele primeiramente escolhe responder ou não o veículo A , analisando suas características de contexto, como posição e direção. Se o vizinho B escolhe responder, ele calcula um tempo de espera, inicia o temporizador e envia um pacote CTS quando o temporizador expirar. A ideia principal é que este tempo de espera defina os melhores veículos para retransmitir os pacotes, isto é, os melhores veículos podem ser aqueles com os tempos de esperas mais longos ou mais curtos. Caso B seja o melhor veículo retransmissor, ele envia um pacote CTS para A . Então, a retransmissão dos pacotes é realizada. Ao receber o pacote com sucesso, B envia um pacote ACK, informando A .

Os trabalhos que utilizam esta técnica costumam propor seus próprios métodos para o cálculo do tempo de espera [Fasolo et al., 2006; Korkmaz et al., 2004], porém a troca de pacotes RTS e CTS permanece como a base para a escolha dos veículos retransmissores.

2.3.1.2 *Carry-and-Forward*

VANETs podem ser vistas como uma versão híbrida de Redes Tolerantes a Atraso e Desconexões (DTN), onde veículos e estações fixas podem ser utilizadas para enviar os pacotes para os destinos [Leontiadis & Mascolo, 2007]. DTNs são caracterizadas por frequentes e longas desconexões na rede, resultando em alguns problemas durante a disseminação de pacotes.

Em protocolos baseados em topologia, a topologia deve ser recalculada quando uma desconexão é detectada ao longo do caminho de disseminação [Nzouonta et al., 2008]. Dependendo do ambiente da rede, isso pode levar a um crítico aumento no

overhead causado pela transmissão de pacotes de controle para restaurar a topologia.

Uma das soluções mais utilizadas para lidar com esse problema é a técnica *carry-and-forward* [Maihöfer & Eberhardt, 2004; Zhao & Cao, 2006; Rathod et al., 2011]. Nessa técnica, quando um nó não consegue encontrar um vizinho adequado para receber os pacotes, ele utiliza um *buffer* interno para armazená-los. Os pacotes são armazenados até que um novo vizinho com características favoráveis para receber os pacotes seja detectado. Apesar do aumento no atraso de entrega, isso evita que os pacotes sejam descartados.

2.3.2 Abordagens de Disseminação de Dados em Redes Veiculares

Pesquisadores têm apresentado muitos trabalhos nos quais protocolos para redes *ad hoc* são aprimorados para obter melhores resultados em ambientes veiculares. Além disso, há muitos trabalhos em que se propõem protocolos e algoritmos desenvolvidos especificamente para VANETs. Eles utilizam técnicas e combinações entre técnicas já existentes, as quais tiram proveito das principais características das VANETs, visando melhorar a performance da disseminação. As técnicas mais importantes e como os protocolos as utilizam são abordadas nas próximas seções.

2.3.2.1 *Multi-hop Broadcast*

Uma das abordagens mais comuns para lidar com a disseminação de dados em VANETs é realizar *broadcasts* baseados na localização dos veículos. Nestes protocolos, o veículo emissor escolhe os vizinhos que estão em uma posição mais distante dentro do seu alcance de sinal para serem os próximos a receberem os pacotes. O número de vizinhos é limitado com o intuito de evitar o problema de *broadcast storm*. Geralmente, o método utilizado para eleger os vizinhos retransmissores é baseado na técnica de troca de pacotes RTS e CTS.

Korkmaz et al. [2004] propõem um protocolo que introduz uma técnica chamada *Broadcast Direcional*, onde o nó emissor seleciona um subconjunto de vizinhos para propagarem os pacotes baseados em suas distâncias. Visando selecionar os próximos nós que receberão um pacote, o protocolo divide a área de cobertura do emissor em setores e seleciona apenas veículos no setor mais distante para propagarem os pacotes. Primeiramente, o emissor transmite um pacote de controle *Request-To-Broadcast* (RTB). Uma vez que os vizinhos recebem esse pacote, eles computam suas respectivas distâncias ao emissor em termos de número de setores. Assim, os vizinhos transmitem

um sinal de *jamming* proporcional ao número de setores, isto é, quanto maior a distância, maior o tempo de *jamming*. Para cada vizinho, quando o *jamming* termina, o estado do canal é verificado: se ainda há transmissões acontecendo, o vizinho termina o processo. Se o canal estiver livre, envia um pacote *Clear-To-Broadcast* (CTB) ao emissor do RTB, voluntariando-se para retransmitir o pacote de dados. Seguindo esse processo, apenas nós localizados nos setores mais distantes são eleitos para receberem os pacotes. O processo contribui para um aumento no atraso de entrega, porém, limita a utilização do *broadcast*, resultando em uma menor taxa de *overhead*.

Fasolo et al. [2006] propõem o *Smart Broadcast* (SB), um protocolo baseado na mesma suposição de Korkmaz et al. [2004], isto é, a área de cobertura do emissor é dividida em setores adjacentes e cada vizinho estima o setor a qual pertence. No entanto, Fasolo et al. [2006] introduzem um procedimento de resolução de contenção, visando reduzir o tempo para eleger os vizinhos que receberão os pacotes. Depois que um pacote RTB é recebido, o vizinho determina a qual setor pertence e determina aleatoriamente um tempo de espera na janela de contenção, baseando-se no seu setor. Isso garante que os vizinhos nos setores mais distantes transmitam antes que os outros. Quando um nó recebe um pacote CTB, ele termina a fase de contenção. A fase de contenção é finalizada quando um pacote CTB válido é recebido pelo nó emissor do RTB. Diferente de Korkmaz et al. [2004], O SB procura minimizar o tempo de eleição de vizinhos e envio de pacotes e não necessariamente envia para vizinhos no setor mais distante.

No protocolo CBF (do inglês, *Contention-Based Forwarding*), proposto por Füller et al. [2004], o veículo emissor envia o pacote de dados para todos os seus vizinhos e estes decidem se a retransmitem ou não. Ao receber um pacote de dados, o vizinho calcula um tempo de espera baseado no progresso que o pacote fará em relação ao seu destino caso seja retransmitido para ele. Nos experimentos, este protocolo obteve resultados tão bons quanto outros protocolos baseados em posição da literatura, com o diferencial de que gera menos *overhead*. O protocolo avalia apenas a posição dos veículos durante a decisão de retransmissão. Caso a direção fosse também avaliada, por exemplo, seria possível evitar que pacotes fossem retransmitidos para veículos indo em direção contrária ao destino, o que poderia gerar retransmissões desnecessárias e *overhead* [Soares et al., 2012]. Além disso, o protocolo não possui métodos para tratar os problemas de partição e fragmentação da rede, partindo do princípio de que há um caminho conectado até o destino.

2.3.2.2 Uso de Informações de Tráfego em Tempo Real

Há uma grande variedade de trabalhos que analisam informações de tráfego para tomar decisões de disseminação. Essas informações podem ser adquiridas em tempo real, de bancos de dados históricos e derivadas de dados estatísticos. Informações em tempo real podem ser obtidas tanto pela Internet quanto a partir da própria rede veicular. Dados históricos podem ser coletados a partir de sensores, como GPS instalado em veículos [Xue et al., 2009], *induction loops* e câmeras de vídeo, criando bancos de dados de informações de tráfego. Trabalhos que se baseiam em dados estatísticos levam em conta vários fatores para inferir o estado do tráfego, como localização, largura e comprimento da rua, limite de velocidade, período do dia, entre outros [Skordylis & Trigoni, 2008]. Além disso, pesquisadores estão estudando como extrair tais informações de redes sociais [Huzita et al., 2012].

Alguns desses trabalhos propõem protocolos baseados na topologia da rede, isto é, eles calculam caminhos de disseminação da origem ao destino antes de enviar os pacotes de dados [Chang et al., 2011; Nzouonta et al., 2008; Wu et al., 2004; Chou et al., 2011]. Esses caminhos são calculados de acordo com informações do tráfego de veículos e de pacotes da rede. Como uma das principais características das VANETs é o comportamento dinâmico, caminhos de disseminação se tornam desatualizados mais rapidamente. Assim, os protocolos procuram resolver esse problema recalculando a topologia sempre que algum problema que a afete é detectado, como acidentes, congestionamentos ou a própria movimentação dos veículos.

Chang et al. [2011] usam informações históricas e em tempo real do tráfego de veículos para auxiliar a disseminação de dados. Dados históricos são obtidos através de bancos de dados de GPS instalados em veículos de transporte público. Nessa abordagem, estações fixas são responsáveis por monitorar estatísticas de tráfego e eventos, como acidentes entre veículos, e enviar as informações para o Centro de Controle de Tráfego (TCC, sigla em inglês para *Traffic Control Center*). Esta unidade, mantida na Internet, pré-processa informações de tráfego, combina dados históricos com dados monitorados e coletados em tempo real recebidos das estações fixas. O TCC mantém um grafo de interseções, onde os vértices representam as interseções e as arestas representam as ruas. Uma distância média entre veículos, baseada no período do dia, é calculada e atribuída a cada rua. Após o grafo ser criado, o TCC o distribui às estações fixas. Quando um nó deseja enviar um pacote de dados, utiliza o algoritmo de Dijkstra para calcular um caminho entre o nó de origem e o destino que ofereça menor distância média entre os veículos, isto é, um caminho conectado. O grafo pode ser atualizado em tempo real baseado nas informações detectadas pelas estações fixas.

Assim como Chang et al. [2011], Nzouonta et al. [2008] propõem um protocolo baseado em caminhos formados por interseções ligadas por ruas, visando obter a maior taxa de conectividade possível entre os nós da rede. Esses caminhos são calculados em tempo real por meio de pacotes de controle, os quais verificam as características do tráfego de veículos. Baseado nesta ideia, os autores apresentam o protocolo RBVT, que possui uma versão proativa e outra reativa. A reativa descobre as rotas por demanda e informa o nó emissor. A versão proativa, por sua vez, envia pacotes periodicamente para avaliar a conectividade da rede e criar um grafo de ruas conectadas pelo alcance do sinal dos veículos. Para evitar *overhead* causado pela troca de pacotes *Hello*, é proposto um método de eleição de vizinhos similar à abordagem RTB/CTB, usada por Fasolo et al. [2006] e Korkmaz et al. [2004]. Como Chang et al. [2011], o funcionamento dos protocolos propostos é baseado na topologia da rede. A topologia é calculada e disseminada para os veículos.

Na versão reativa do RBVT, quando um veículo deseja transmitir um pacote de dados, ele envia um pacote de descoberta de rota (RD) por meio de um *broadcast* e utilizando uma abordagem de *flooding* controlada. Este processo tem o intuito de descobrir um caminho conectado até o destino do pacote. Quando o veículo de destino recebe o pacote RD, responde com um pacote de resposta (RR), no qual armazena o caminho percorrido pelo pacote RD. A disseminação de dados é iniciada assim que o veículo emissor recebe o pacote RR. Pacotes de erro (RE) e atualização de rota (RU) são enviados para atualizar e consertar rotas. Uma vez que os pacotes são disseminados apenas por caminhos conectados, o protocolo não funciona bem em redes esparsas, nas quais esses caminhos não são comuns.

O protocolo SADV [Ding & Xiao, 2010] tem como principal característica a distribuição de estações fixas nas interseções do cenário. Estas estações armazenam temporariamente pacotes que não podem ser transmitidos pelo melhor caminho calculado, devido a falta de veículos retransmissores. Além disso, os autores propõem um módulo utilizado para estimar o tempo médio de atraso para transmitir pacotes entre as interseções, baseando-se em informações estatísticas do tráfego. As estações fixas enviam pacotes de controle entre si para avaliar o atraso para enviar pacotes por cada segmento de rua adjacente. A partir disso, o cenário é abstraído como um grafo direcionado, os tempos de atraso são atribuídos a cada aresta e então, o protocolo calcula o caminho mínimo até o destino do pacote. Quando um veículo que carrega um pacote entra no alcance de uma estação fixa, ele verifica se há um vizinho localizado na próxima rua do caminho e então retransmite o pacote. Caso haja um vizinho, o pacote é retransmitido diretamente a ele. Caso contrário, a estação fixa recebe o pacote e o retransmite quando um vizinho adequado for encontrado. Entre as interseções, a retransmissão é

feita utilizando uma comunicação *multi-hop* quando houver um caminho conectado e *carry-and-forward* quando não houver.

2.3.2.3 Roteamento Geográfico

Com o aumento da popularidade de sistemas de posicionamento global, como o GPS, o roteamento geográfico se tornou uma solução promissora para a disseminação de dados. Esta técnica requer que cada nó determine sua própria localização e que o nó emissor saiba a localização do destino. Além disso, alguns trabalhos desenvolvem protocolos baseados na suposição de que todos os veículos carregam mapas digitais da cidade. Assim, eles podem calcular os caminhos de disseminação e roteamento de acordo com tais mapas. Abordagens promissoras combinam informações de tráfego em tempo real com os mapas e calculam caminhos de acordo com o tráfego de veículos e dados da rede, como o tráfego de pacotes.

O GyTAR [Jerbi et al., 2009] é um protocolo de roteamento geográfico baseado em interseções. O seu funcionamento é baseado em três pontos principais: (i) estimativa da densidade de veículos nas ruas, (ii) seleção dinâmica de interseções por onde os pacotes serão transmitidos e (iii) retransmissão geográfica gulosa entre as interseções. Primeiramente, as ruas do cenário são divididas em células e um líder, veículo mais próximo do centro da célula, é escolhido para cada uma. O caminho e interseções por onde os pacotes são retransmitidos são escolhidos com base na densidade de veículos nas ruas. Para selecionar a próxima interseção do caminho, o protocolo verifica a densidade de veículos da rua que leva à interseção e a distância curvimétrica da interseção candidata até o destino. Entre as interseções, a retransmissão dos pacotes é feita de uma forma gulosa, isto é, enviando sempre para o veículo mais próximo da interseção seguinte. Neste caso, quando não há veículos para continuar a retransmissão, a técnica *carry-and-forward* é utilizada.

Lee et al. [2011] propõem o *Hybrid Traffic-Aware Routing Protocol* (HTAR), que considera informações de tráfego de veículos e de pacotes da rede em tempo real durante a disseminação de dados. Uma das principais considerações é que os veículos são equipados com dispositivos GPS, permitindo que adquiram suas próprias localizações. Cada nó realiza *broadcasts* de pacotes *Hello* periodicamente aos vizinhos para atualizar as informações na sua tabela de vizinhos. Cada nó emissor de pacotes de dados deve calcular um caminho de roteamento antes de enviá-los ao destino. Como Chang et al. [2011], HTAR usa o algoritmo de Dijkstra para calcular caminhos de roteamento e pode modificá-los de acordo com a congestão da rede. Quando um veículo em um segmento de rua recebe um pacote, verifica se é o destino do pacote. Se não, tenta

encontrar um vizinho adequado baseado no caminho de roteamento calculado. Se há um vizinho, o pacote é retransmitido. Caso contrário, o veículo armazena o pacote até que um novo vizinho adequado para recebê-lo seja detectado.

O protocolo HTAR propõe o uso dos *junc-trackers*, isto é, veículos localizados em interseções, que coletam e disseminam informações de tráfego das ruas adjacentes periodicamente. Devido a mobilidade dos veículos, os *junc-trackers* precisam ser eleitos constantemente utilizando envios de pacotes de controle, o que pode levar a um aumento no *overhead* e atraso de entrega. Uma das principais desvantagens de usar pacotes de controle para avaliar o tráfego é o *overhead* causado pelos *broadcasts*. Por outro lado, com os *junc-trackers*, não é necessário o uso de estações fixas, o que iria aumentar o custo de implantação. Experimentos mostraram que o protocolo HTAR consegue superar o GyTAR em termos de taxa de entrega de pacotes.

Xue et al. [2009] levam em conta modelos de Markov para derivar padrões de mobilidade de dados de GPS coletados a partir de táxis em Shanghai, na China. Esses dados são compostos pela localização, velocidade, direção dos veículos e o horário do dia em que os dados foram coletados. Para analisar as mudanças no tráfego durante o dia, a velocidade foi escolhida como um critério de medição. Por exemplo, se a velocidade média dos veículos é baixa ao longo da rua, isso pode indicar que ela está congestionada. Como as condições dinâmicas de trânsito podem afetar o modelo de predição, eles usam diferentes modelos baseados no tráfego ao longo do dia. Após treinar esses modelos, eles podem ser usados para prever a próxima rua do veículo baseado na rua em que se encontra atualmente.

Nadeem et al. [2006] exploram a mobilidade bidirecional das ruas e seu impacto na performance da disseminação. Neste trabalho, é estudada a disseminação de dados para veículos que se encontram atrás do veículo emissor. O trabalho compara três modelos de disseminação: mesma direção, direção oposta e bidirecional. No primeiro modelo, apenas veículos que se movem na mesma direção são responsáveis pela propagação dos pacotes. Por outro lado, o modelo de direção oposta utiliza veículos indo na direção contrária em comparação ao emissor. O modelo bidirecional combina as duas abordagens anteriores. O principal resultado deste estudo é que a disseminação usando apenas veículos na direção oposta aumenta a performance da disseminação de dados. Isso é causado pelo fato de que os pacotes são propagados em diferentes velocidades no modelo bidirecional. Assim, os dados disseminados pelos veículos na mesma direção podem sobrescrever aqueles propagados por veículos na direção oposta, causando uma baixa acurácia.

2.3.2.4 Baseados Em Informações de Contexto

Alguns protocolos se definem como cientes do contexto. Um sistema é ciente do contexto se ele usa informações de contexto para proporcionar informações e serviços relevantes ao usuário [Vanrompay et al., 2010]. No caso das VANETs, as informações de contexto podem ser compostas por localização, direção, velocidade dos veículos, entre outras.

O trabalho proposto por Vanrompay et al. [2010] leva em conta informações de contexto para prever situações como tráfego congestionado ou acidentes de carros em certas regiões do cenário. Com o intuito de otimizar a disseminação, alguns requisitos devem ser levados em conta. Em aplicações cientes do contexto, é desejável saber a localização exata de um incidente. Além disso, se esse tipo de aplicação pode sensoriar e disseminar informações sobre direção e velocidade dos veículos, ele pode prever comportamentos do tráfego, como congestionamentos e acidentes. Esse algoritmo usa informações enviadas pelos vizinhos para reduzir o número de vezes que um pacote é retransmitido até chegar ao destino. Cada veículo vizinho avisa o nó emissor se a informação é relevante, irrelevante, inútil ou duplicada para ele. O protocolo aprende o padrão do tráfego por meio da troca de informações de contexto entre os nós da rede. Além disso, ele usa cadeias de Markov para prever as futuras direções dos veículos e otimizar o tráfego de pacotes da rede.

Eichler et al. [2006] levam em conta informações de contexto para inferir o valor de mensagens de aviso para cada veículo da rede. Por exemplo, se um veículo está localizado em uma estrada por volta da cidade, há uma probabilidade alta de que a informação sobre o congestionamento do tráfego ser irrelevante para ele. Os nós avaliam a relevância de pacotes de dados a potenciais nós de destino e os enviam de acordo com isso.

2.3.3 Discussão

2.3.3.1 Combinações Entre Técnicas

Há alguns trabalhos que combinam diferentes abordagens visando resolver os desafios da disseminação de dados em ambientes veiculares.

Zhao & Cao [2006] usam a técnica *carry-and-forward* para lidar com os problemas de partição e fragmentação da rede. Além disso, o trabalho apresenta uma solução baseada na mobilidade veicular previsível, isto é, limitada pelo padrão de tráfego e o formato das ruas, para auxiliar na disseminação dos pacotes. O protocolo infere a velocidade dos veículos por meio da análise do limite de velocidade e a densidade de

veículos na rua. A direção é previsível a partir do padrão da rua. Um dos principais princípios seguidos pelo protocolo proposto é que se um pacote deve ser carregado, a rua com a maior velocidade estimada deve ser escolhida.

Os autores assumem que cada veículo é equipado com um mapa digital das ruas da cidade e estatísticas de tráfego de diferentes períodos do dia. Eles modelam a rede veicular como um grafo direcional onde os vértices representam as interseções e as arestas os segmentos de rua. A direção de cada aresta é a mesma da rua representada. O peso de cada aresta é o atraso de envio dos pacotes entre as duas interseções interligadas pela aresta. Portanto, caminhos de disseminação são calculados baseados em estatísticas de tráfego, visando evitar segmentos de rua desconectados, o que aumentaria o atraso de entrega. O atraso é o principal problema a ser resolvido nesse trabalho. O protocolo procura disseminar pacotes eficientemente, dentro de um período de tempo razoável.

Um pacote pode ter diferentes significados e relevância de acordo com sua distância a partir do nó emissor. Por exemplo, a informação de um acidente de carro é muito importante a alguns metros do evento, visto que pode evitar outras colisões. No entanto, a alguns quilômetros, a mesma informação pode ajudar motoristas a recalcularem suas rotas para evitar congestionamentos e tem uma restrição de atraso menos crítica.

Rathod et al. [2011] consideram essa ideia e propõem um esquema de disseminação que escolhe entre as técnicas *multi-hop broadcast* e *carry-and-forward* baseado na distância da origem da informação ao destino. O trabalho estabelece duas zonas de disseminação diferentes, referentes às duas técnicas utilizadas. A técnica de *multi-hop broadcast* é preferível próximo à origem do pacote de dados pois propaga os dados rapidamente, contribuindo para uma alta resolução de dados. Por outro lado, como a relevância dos dados tende a cair à medida que a distância da origem dos pacotes aumenta, a técnica *carry-and-forward* pode ser usada para realizar a disseminação em regiões mais distantes, onde os dados podem ser comprimidos e atrasados sem grandes problemas.

Skordylis & Trigoni [2008] exploram a combinação entre *multi-hop forwarding* e *carry-and-forward*. Nesse caso, eles visam otimizar a utilização da largura de banda enquanto consideram as restrições de atraso de entrega de cada pacote. No algoritmo G-Greedy, quando um pacote precisa ser enviado, um limiar de atraso (TTL) é atribuído a ele. Assim, o limiar é uniformemente distribuído entre as arestas que formam o caminho mínimo ao destino, atribuindo um valor a cada aresta. Dessa forma, se o tempo gasto carregando o pacote por uma aresta não exceder o atraso alocado a ela, utiliza-se a técnica *carry-and-forward*. Caso contrário, a técnica de *multi-hop* é utilizada.

Em VANETs, oportunidades de comunicação entre veículos são criadas por meio

da movimentação deles pelo cenário. Wu et al. [2004] propõem o protocolo *Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm for Vehicular Networks* (MDDV), o qual leva em conta a mobilidade veicular durante a disseminação de dados. O MDDV combina três tipos de encaminhamento: oportunístico, geográfico e baseado em trajetória. Basear-se na trajetória significa que um caminho entre a origem e o destino é especificado. Neste caminho, é utilizada uma abordagem gulosa, retransmitindo os pacotes sempre para veículos mais próximos do destino, caracterizando o encaminhamento geográfico. O encaminhamento oportunístico estabelece regras para determinar quem é elegível para retransmitir um pacote, quando o pacote deve ser retransmitido e quando deve ser descartado ou armazenado.

Brickley et al. [2007] focam nos meios da propagação de dados em um cenário híbrido, isto é, com diferentes tecnologias sem fio. O trabalho propõe uma arquitetura para a cooperação de sistemas veiculares com o intuito de proporcionar uma conectividade flexível a veículos em altas velocidades. Além disso, algumas regras de disseminação são estabelecidas, visando aumentar a eficiência da propagação dos dados das aplicações.

A arquitetura proposta é composta por três partes principais: a Camada de Gerenciamento Central, Infraestrutura Urbana e Veículos. A Camada de Gerenciamento Central monitora o ambiente veicular como um todo. A Infraestrutura Urbana administra o sistema veicular em um nível regional. Por fim, os veículos geram e reportam informações do tráfego em nível local.

A disseminação baseada em regras é estruturada a partir da integração entre as tecnologias UMTS e IEEE 802.11 (WLAN). UMTS é utilizada para prover uma conectividade sem fio disponível em qualquer parte do cenário e a WLAN para oferecer comunicação entre os veículos e as infraestruturas. Se não há cobertura de WLAN, UMTS é escolhida para propagar os dados. Caso ambas estejam disponíveis, as características de cada uma são avaliadas com o intuito de selecionar a que proporcionará a melhor performance.

2.3.3.2 Resumo das Técnicas

Como a maioria dos protocolos combinam diferentes abordagens de disseminação de dados, as principais foram sumarizadas, mostrando algumas de suas vantagens e desvantagens, na Tabela 2.1.

Protocolos baseados em *multi-hop broadcast* contribuem para uma menor taxa de *overhead* que *broadcasts* tradicionais. Os protocolos evitam o problema de *broadcast storm* selecionando um subconjunto de veículos vizinhos para participar da dissemina-

ção. É bastante aplicável a redes densas, onde na maior parte do tempo, há vizinhos adequados para retransmitirem os pacotes. Uma entrega mais rápida é alcançada por que os veículos emissores precisam esperar apenas o tempo da fase de seleção de retransmissores antes de enviar os pacotes de dados. No entanto, essa fase pode levar a colisões de pacotes, que aumentam o atraso e *overhead*.

A técnica de roteamento geográfico oferece uma solução bastante efetiva quando combinada com informações de trânsito. Neste caso, como os veículos têm acesso a mapas digitais, os protocolos podem criar rotas de acordo com o mapa e as informações do tráfego, as quais podem ser obtidas em tempo real ou coletadas de bases de dados históricos ou estatísticos de trânsito. Os requisitos de cada aplicação podem também ser levados em conta. Por exemplo, se uma aplicação requer um curto atraso de entrega, protocolos podem escolher ruas com alta densidade de tráfego durante a disseminação.

Uma das desvantagens de protocolos que utilizam roteamento geográfico é quando estes se baseiam na topologia da rede para criar caminhos de disseminação. Neste caso, eles utilizam métodos para descobrir a topologia da rede antes de enviar os pacotes de dados. A rede é modelada como um grafo, onde os vértices representam as interseções e as arestas representam as ruas. O problema é que, devido ao comportamento dinâmico das VANETs, a topologia precisa ser recalculada periodicamente. Isso contribui para um aumento no atraso de entrega e *overhead*, causado pela troca de pacotes de controle.

A maior vantagem de protocolos baseados em informações de contexto é o comportamento auto-adaptativo. Informações de contexto podem ser compostas por localização, velocidade, direção e *buffer* de pacotes em relação aos nós da rede [Soares et al., 2012]. Através da troca de pacotes *Hello*, os nós coletam informações de contexto de seus vizinhos, armazenando em tabelas locais. Assim, eles podem escolher os vizinhos retransmissores rapidamente, sem o atraso causado por uma fase de seleção, como em protocolos baseados em *multi-hop broadcast*. Neste caso, para manter a tabela de vizinhos atualizada, os nós precisam constantemente trocar informações com seus vizinhos, resultando em *overhead*.

Soluções baseadas em *carry-and-forward* são aplicadas em redes esparsas, onde, na maioria dos casos, não há uma quantidade suficiente de nós para realizar a disseminação dos pacotes. Assim, protocolos podem evitar perda de pacotes e atraso causados pela busca de uma rota alternativa para os pacotes. Apesar disso, em alguns casos, o tempo gasto carregando pacotes pode ser muito alto, sendo preferível usar outras técnicas por diferentes caminhos.

Tabela 2.1: Resumo das Abordagens

| Técnica | Vantagens | Desvantagens |
|----------------------------|---|---|
| <i>Multi-hop Broadcast</i> | Menos <i>overhead</i> que o tradicional <i>broadcast</i> , Menor atraso, Redes densas | Aumento no atraso e <i>Overhead</i> |
| Roteamento Geográfico | Combinação com informações de trânsito | <i>Overhead</i> e atraso causados pelo cálculo da topologia |
| <i>Carry-and-forward</i> | Evita perda de pacotes, Redes esparsas | Alta taxa de entrega |
| Baseada em Contexto | Auto-adaptativo, Rápida entrega de dados | <i>Overhead</i> causado por pacotes de controle |
| Baseada em Topologia | Rápida entrega de dados | <i>Overhead</i> e atraso causados pelo cálculo da topologia |

Capítulo 3

Protocolo *Traffic-Oriented Data Dissemination*

Visando lidar com o comportamento dinâmico e obter bons resultados em diferentes cenários veiculares, este trabalho propõe o protocolo *Traffic-Oriented Data Dissemination* (TODD). Neste contexto, a expressão “orientado ao tráfego” significa que todas as escolhas feitas pelo protocolo são baseadas em informações de tráfego de veículos em tempo real. A principal característica do TODD é a técnica de seleção dinâmica de veículos retransmissores. Diferente de outras técnicas, esta permite uma fácil adaptação a diferentes cenários veiculares. Além disso, propõe-se uma versão centralizada do TODD (CTODD), a qual utiliza estações fixas presentes em interseções para coletar informações do tráfego de veículos e calcular o melhor caminho de disseminação dos pacotes. As próximas seções apresentam as suposições principais deste trabalho e descrições detalhadas dos protocolos propostos.

3.1 Suposições

O TODD escolhe os melhores veículos para participar da disseminação realizando uma análise de informações de tráfego em tempo real. A principal suposição é que cada veículo tem acesso a um banco de dados local com essas informações. Neste trabalho, os bancos armazenam informações a respeito da densidade de veículos em cada rua do cenário. Várias fontes de informações de tráfego têm sido utilizadas, como sensores distribuídos pela cidade e as redes sociais. Na prática, o banco de dados citado neste trabalho pode ser alimentado utilizando fontes *online* de informações de trânsito e dados estatísticos e históricos.

No entanto, em um cenário real é possível que tais fontes de informação não

estejam disponíveis. Além disso, parte dos veículos pode não possuir acesso à Internet. Por isso, o CTODD utiliza estações fixas para avaliar o estado do tráfego de veículos em tempo real. Cada estação fixa é responsável por enviar pacotes periodicamente para avaliar a quantidade de veículos em cada uma de suas ruas adjacentes.

Os protocolos são do tipo *unicast*, isto é, procuram disseminar dados de um veículo fonte a um único destino. *Unicast* foi escolhido pois é a base para diversas aplicações no contexto das redes veiculares, como direção cooperativa, disseminação de publicidade e informações de trânsito, jogos e envio de vídeos. Neste trabalho, trata-se o problema de *unicast* com o destino parado.

Além disso, assume-se que todos os veículos são equipados com sensores GPS e mapas digitais da cidade. Assim, eles sabem suas posições, velocidade e conseguem mapear tais informações para as regiões da cidade. Ambos os protocolos assumem que o veículo origem sabe a localização do destino. Muitos trabalhos propõem algoritmos e protocolos que podem ser utilizados para esse fim [Boukerche et al., 2008].

3.2 TODD - *Traffic-Oriented Data Dissemination*

Diferente de protocolos baseados em topologia, o TODD não calcula um caminho de disseminação antes que os pacotes de dados sejam enviados. É realizada uma comunicação *hop-to-hop* até os pacotes serem entregues ao destino. Quando não há vizinhos suficientes para realizar a disseminação, a técnica *carry-and-forward* é utilizada, lidando com os problemas de partição e fragmentação da rede.

Durante a comunicação *hop-to-hop*, o TODD utiliza uma modificação da técnica de troca de pacotes RTS e CTS com o intuito de selecionar os veículos que retransmitem os pacotes de dados.

Quando um veículo gera ou recebe um pacote de dados, ele inicia um período de descoberta de vizinhos. Ele armazena o pacote de dados em um *buffer* interno, envia um pacote RTS via *broadcast* e inicia um temporizador. Se um veículo adequado para receber o pacote é detectado antes que o temporizador expire, este é cancelado e o pacote é retransmitido. Por outro lado, quando o temporizador expira, um novo pacote RTS é transmitido. O *broadcast* de pacotes RTS continua até que um veículo retransmissor adequado seja detectado. Tal processo de armazenamento de pacotes de dados e descoberta de vizinhos caracteriza a técnica *carry-and-forward*.

Ao receber um pacote RTS, cada vizinho calcula um temporizador de resposta. Ao finalizar o temporizador, ele envia um pacote CTS pra o veículo emissor do pacote RTS. Neste trabalho, é proposta uma métrica para computar o tempo de espera do

temporizador de resposta de acordo com três fatores: distância ao destino, velocidade e densidade de veículos. Assim, visa-se escolher o melhor veículo retransmissor baseado no cenário veicular e nos fatores de cada veículo vizinho.

Após transmitir um pacote de dados para um veículo vizinho, o veículo emissor inicia um tempo de espera de ACK. Se o tempo expirar, o pacote não foi transmitido com sucesso, logo, o emissor continua o processo de descoberta de vizinhos, realizando o *broadcast* de outro pacote RTS. Se o pacote de dados for transmitido com sucesso, o veículo que o recebe envia um pacote ACK para o emissor.

Durante a troca de pacotes RTS e CTS, o veículo selecionado para receber o pacote de dados está localizado no alcance de sinal do emissor. No entanto, devido a mobilidade dos veículos, quando o pacote é transmitido, ele pode não estar mais dentro do alcance do sinal. Portanto, pacotes ACK são necessários para confirmar que os pacotes de dados são disseminados pela rede com sucesso.

A maior contribuição do protocolo TODD é o processo de seleção dinâmica de próximos veículos que retransmitem os pacotes de dados, o qual lida com o comportamento dinâmico e diferentes tipos de cenários veiculares. Sua ideia principal é que a seleção de próximos veículos pode ser ajustada de acordo com o comportamento do tráfego de veículos. Outra contribuição é um estudo sobre como os fatores do método de seleção dinâmica impactam nos resultados da disseminação em ambientes densos e esparsos.

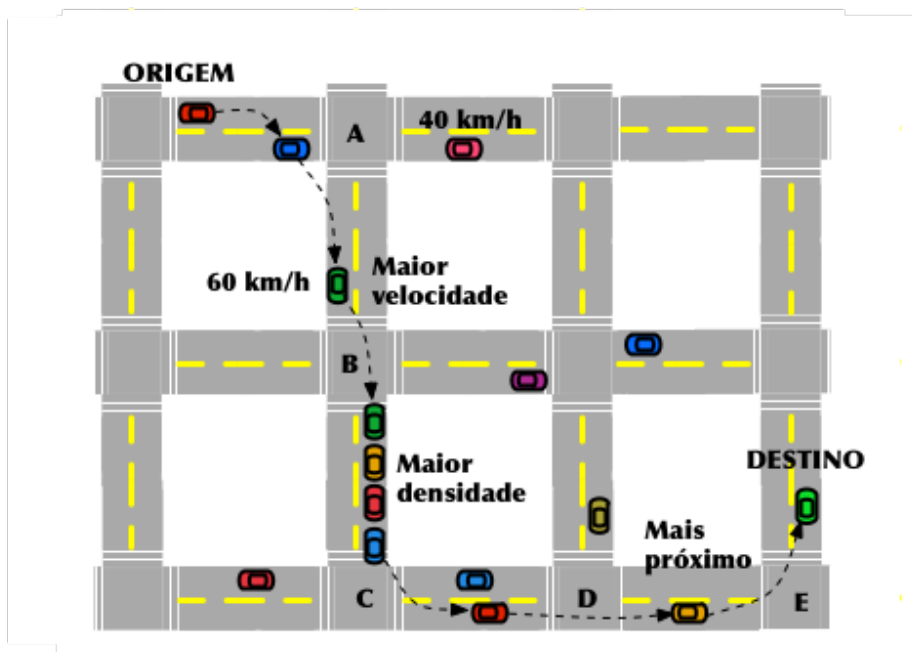


Figura 3.1: Ilustração do funcionamento do TODD.

A figura 3.1 ilustra a principal ideia do processo de disseminação do protocolo TODD. A disseminação é realizada verificando as informações de contexto dos veículos da rede. Assim, de acordo com as informações de trânsito em tempo real, é possível selecionar os melhores veículos para realizarem a disseminação, os quais, neste caso, podem ser aqueles com maior velocidade, presentes em ruas com maior densidade de veículos ou mais próximos ao destino dos pacotes.

3.3 CTODD - *Centralized Traffic-Oriented Data Dissemination*

Fontes *online* de informações de trânsito nem sempre estão disponíveis e muitos veículos podem não possuir acesso à Internet. Pensando nisso, propõe-se uma modificação do protocolo TODD que utiliza estações fixas para coletar informações de tráfego de veículos em tempo real e realizar a disseminação de pacotes.

3.3.1 Estações fixas e tabelas de vizinhos

As estações fixas são localizadas nas interseções do cenário. Periodicamente, elas iniciam uma fase de descoberta de vizinhos, na qual enviam pacotes utilizando *broadcast* para monitorar as ruas adjacentes e descobrir os veículos vizinhos localizados em cada uma, mantendo tabelas para salvar as informações. Assim, ela pode inferir a rua que possui maior movimentação de veículos.

Periodicamente, a estação fixa envia pacotes *Hello* por *broadcast*. Ao receber um pacote *Hello*, um veículo vizinho da estação responde enviando um pacote de resposta, o qual possui informações sobre (i) o endereço do veículo, (ii) posição, (iii) velocidade e (iv) rua na qual o veículo está localizado. Ao receber o pacote de resposta, a estação atualiza a tabela de vizinhos.

Dessa forma, cada estação fixa armazena as informações dos veículos vizinhos localizados em cada rua adjacente da sua interseção, o que oferece uma estimativa da densidade de veículos em cada uma delas.

3.3.2 Disseminação de Dados

No CTODD, a disseminação de dados possui duas fases principais: nas ruas e nas áreas de cobertura das estações fixas.

Entre as interseções, a forma como a disseminação dos pacotes ocorre é similar ao TODD. O mesmo método baseado em pacotes RTS e CTS com a métrica de seleção

dinâmica de veículos retransmissores é utilizado. No entanto, como os veículos não possuem informações sobre a densidade de veículos na rua em que estão localizados, apenas os fatores de distância ao destino e velocidade são levados em conta.

A principal diferença em comparação ao TODD ocorre nas interseções, regiões dentro do alcance do sinal das estações fixas. Quando um veículo que carrega um pacote de dados detecta uma estação fixa, ele retransmite imediatamente o pacote para a estação. Ao receber o pacote de dados, a estação percorre sua tabela de vizinhos e calcula a métrica de seleção dinâmica para cada um deles. O vizinho que possuir o maior valor para a métrica é escolhido para ser o próximo retransmissor do pacote de dados. Caso não haja vizinhos, o processo é repetido após a próxima fase de descoberta de vizinhos.

Neste trabalho, é utilizada uma abordagem FIFO (do inglês, *First In First Out*), ou seja, os primeiros pacotes recebidos e armazenados pelas estações fixas, são os primeiros a serem retransmitidos.

3.4 Método de Seleção Dinâmica de Próximos Veículos Retransmissores

Tanto o TODD quanto o CTODD utilizam a troca de pacotes RTS e CTS para escolher os próximos veículos que retransmitirão os pacotes durante a disseminação. A principal diferença para outras abordagens baseadas na técnica RTS/CTS é o cálculo de uma métrica, implementada de forma que seja possível alterar seu comportamento de acordo com informações obtidas em tempo real sobre o tráfego de veículos.

3.4.1 Troca de Pacotes RTS e CTS

Quando um veículo A deseja enviar um pacote de dados p a um destino B , ele primeiro envia um pacote RTS via *broadcast* para eleger o vizinho que continuará a transmissão. O pacote RTS contém (i) um número identificador da mensagem, (ii) os endereços e posições de A e B e (iii) o endereço do veículo de origem, isto é, aquele que gerou o pacote de dados p .

Quando um vizinho C do veículo A recebe o pacote RTS, ele primeiro verifica se ele próprio é o destino do pacote de dados a ser enviado. Se não, ele escolhe responder ao veículo A apenas se está mais próximo e indo em direção ao destino do pacote em comparação a A . No TODD, um veículo determina isso comparando sua posição atual com suas posições anteriores e as posições de A e B , extraídas do pacote RTS. Verificar

a direção em que o veículo está indo é importante para evitar atraso e retransmissões desnecessárias de pacotes [Soares et al., 2012]. A informação sobre o veículo origem é usada para evitar que o veículo destino receba pacotes duplicados, enviados a partir da mesma origem.

Se o vizinho C escolhe responder, ele calcula um tempo de espera utilizando a função da métrica proposta, inicia o temporizador e envia um pacote CTS quando o temporizador expirar. Para calcular o tempo de espera, a métrica é invertida e multiplicada pelo tempo máximo. O tempo máximo do temporizador é estabelecido em 0.375 segundos. Füßler et al. [2004] mostra que esse valor permite melhores resultados de atraso de entrega em redes *ad hoc* móveis. O pacote CTS armazena seu número de identificação e o do veículo origem do pacote de dados p , o qual A está tentando retransmitir. Portanto, quando A recebe o pacote CTS de C , ele sabe que C é o melhor veículo retransmissor para o pacote p . Neste caso, o temporizador de C foi o menor entre os vizinhos de A .

Algoritmo 1: Recebe pacote RTS

```

Entrada: Pacote  $p$ 
// Veículo  $i$  recebe pacote RTS  $p$ 
distância ← calcularDistânciaAoDestino(p.destX, p.destY);
// Verifica se está mais próximo do destino em comparação ao emissor
if distância <  $p.emissor.distânciaAoDestino$  then
  if  $i$  está se aproximando do destino do pacote then
    velocidade ← calcularVelocidade();
    densidade ← calcularDensidadeDeVeículosDaRua();
    métrica ← calcularMétrica(distância, velocidade, densidade);
    iniciarCTSTimer(0.375*(1/métrica));
  end
end
descartarPacote( $p$ );

```

Nesse processo, quanto maior o valor da métrica, menor será o tempo de espera. Dessa forma, o vizinho que possuir o maior valor da métrica será o mais adequado a receber os pacotes, responderá primeiro ao emissor do pacote RTS e será selecionado como o próximo retransmissor do pacote de dados. Uma explicação detalhada sobre como o cálculo da métrica funciona é mostrada na seção 3.4.2. Os vizinhos que recebem o pacote CTS sabem que um deles foi escolhido e cancelam seus respectivos *timers*. O processo de troca de pacotes RTS e CTS é sumarizado nos algoritmos 1 e 2.

Algoritmo 2: Recebe pacote CTS

```

Entrada: Pacote  $p$ 
//Veículo  $i$  recebeu pacote CTS  $p$  do veículo  $j$ 
if  $p.destino = i$  then
    foreach Pacote armazenado  $s$  do
        if  $s.destino = p.destino$  then
            retransmitirPacote( $s, j$ );
            iniciarACKTimer( $s$ );
        end
    end
else
    cancelarCTSTimer( $p$ );
end

```

3.4.2 Cálculo da Métrica para Escolha do Próximo Veículo Retransmissor

Um veículo calcula sua métrica baseado em três fatores: (i) distância ao destino do pacote, (ii) velocidade e (iii) densidade de veículos na rua em que está localizado. No TODD, todos os veículos têm acesso a informações de tráfego de veículos em tempo real. Por outro lado, no CTODD, apenas as estações fixas possuem essa informação. Dessa forma, no TODD, todos os veículos que calculam a métrica, utilizam os três fatores. No CTODD, os veículos utilizam apenas os dois primeiros fatores. Neste caso, apenas as estações fixas podem utilizar o fator de densidade de veículos, pois coletam essa informação.

Tais fatores são normalizados baseado em valores estimados para a máxima distância ao destino, máxima velocidade e máxima densidade de veículos no cenário. Os valores máximos podem ser estimados analisando características do cenário, por exemplo, tamanho do cenário, velocidades máximas das ruas e comprimento e número de faixas das ruas. Uma vez que cada fator é normalizado, coeficientes são utilizados para atribuir pesos a eles. A equação 3.1 define a função de cálculo da métrica utilizada nos protocolos propostos.

$$\begin{aligned}
 f(\alpha, \beta, \gamma) = & \theta \times (1 - \alpha/\alpha_{max}) + \\
 & \lambda \times (\beta/\beta_{max}) + \\
 & \mu \times (\gamma/\gamma_{max})
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Os coeficientes θ , λ e μ são os pesos dos fatores distância ao destino, velocidade

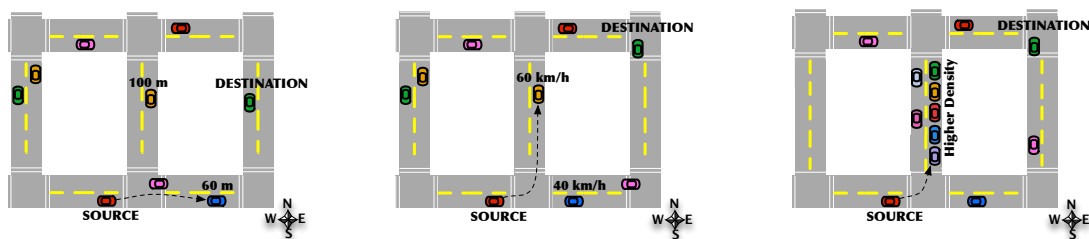
e densidade de veículos, respectivamente. O valor atual para cada fator é representado pelas letras α , β e γ . Diferente dos fatores de velocidade e densidade de veículos, o fator de distância ao destino e o valor final da métrica são inversamente proporcionais. Assim, o fator de distância normalizado é subtraído por 1. As constantes de valores máximos são representadas por α_{max} , β_{max} e γ_{max} . Cada cenário possui valores específicos para essas constantes. Tais valores são estimados por engenheiros durante os projetos de novas vias, tornando fáceis de serem obtidos em ambientes reais.

No TODD, o fator de densidade de veículos impacta significativamente no cálculo da métrica apenas quando o veículo que realiza o *broadcast* do pacote RTS está localizado em uma interseção. Isso acontece por que em interseções os vizinhos estão localizados em diferentes ruas, isto é, possuem diferentes valores para densidade de veículos. No CTODD, apenas as estações fixas, presentes em interseções, possuem informações sobre o tráfego de veículos nas ruas adjacentes. Dessa forma, não há como os veículos utilizarem dados de trânsito durante a disseminação entre as interseções, isto é, ao longo dos segmentos de rua.

Os coeficientes de peso podem ser dinamicamente atribuídos, de acordo com o cenário veicular. Por exemplo, em uma rede esparsa, o peso do fator de velocidade pode ser maior que o de densidade de veículos, visto que os veículos tendem a carregar pacotes por mais tempo. Os veículos com maiores velocidades e indo em direção ao destino do pacote são os melhores candidatos para carregar os pacotes nesse cenário. Por outro lado, a distância ao destino pode ter maior impacto e, portanto, maior coeficiente de peso em cenários densos.

A Figura 3.2 ilustra como os maiores coeficientes de peso podem auxiliar na escolha dos veículos retransmissores. Na Figura 3.2a, supondo que a distância ao destino possui maior impacto em comparação aos outros fatores, o veículo que está a 60 metros do destino é escolhido para ser o próximo retransmissor. As Figuras 3.2b e 3.2c mostram quando os fatores velocidade e densidade de veículos têm maior impacto no cálculo da métrica, respectivamente.

Na prática, serviços *online* de informações de trânsito podem ser utilizados para determinar e disseminar os melhores coeficientes de peso da métrica. Quando serviços como esse não estiverem disponíveis, estações fixas podem ser utilizadas para disseminar os coeficientes de acordo com as informações de tráfego de veículos coletadas. Nos experimentos de simulação, dois conjuntos de coeficientes são avaliados separadamente, isto é, cada um é utilizado em um cenário veicular diferente. Esses conjuntos foram calculados a partir dos resultados de experimentos empíricos, onde se avaliou quais valores de coeficientes contribuem para os melhores resultados em cada cenário utilizado.



(a) Distância ao destino.

(b) Velocidade.

(c) Densidade.

Figura 3.2: Exemplos ilustrando cenários onde cada fator da métrica pode ter maior impacto na disseminação.

3.4.3 Experimentos de Ajuste de Coeficientes de Peso da Métrica

Com o objetivo de verificar quais fatores devem impactar mais em ambientes densos e esparsos, experimentos de simulação foram realizados utilizando o protocolo TODD. Diferentes combinações de coeficientes de peso foram utilizadas e posteriormente, avaliou-se quais contribuíram para os melhores resultados.

3.4.3.1 Metodologia de Simulação

Os experimentos foram realizados em um cenário baseado em *grid* com duas versões: densa e esparsa. O cenário é composto por 30 interseções e segmentos de rua de 750 metros. Três métricas foram utilizadas para avaliar os resultados: taxa de entrega de pacotes, atraso de entrega e *overhead* causado por pacotes de controle.

Cada experimento consistiu em realizar disseminação de dados de um veículo origem a um destino utilizando o TODD, um dado conjunto de coeficientes e em uma das versões do cenário. Os seguintes valores de coeficientes foram utilizados: 1, 10, 50, 100, 500, 1000. Para cada versão do cenário, foram testadas todas as combinações de valores atribuídos aos três coeficientes.

Após essa etapa, os conjuntos de coeficientes foram agrupados de acordo com relações entre eles. Avaliou-se quando cada coeficiente é menor e maior que os outros dois. Dessa forma, os conjuntos de coeficientes foram agrupados em seis categorias, descritas na Tabela 3.1. Os resultados desses experimentos são mostrados na Figura 3.3.

Tabela 3.1: Categorias dos Coeficientes

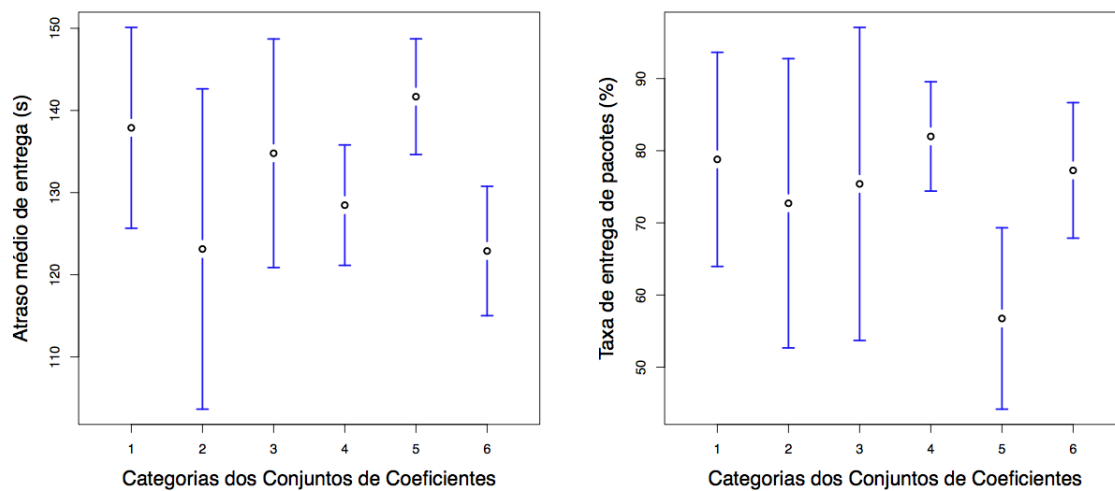
| Índice | Descrição |
|--------|------------------------------------|
| 1 | Densidade > Distância e Velocidade |
| 2 | Velocidade > Distância e Densidade |
| 3 | Distância > Velocidade e Densidade |
| 4 | Distância < Velocidade e Densidade |
| 5 | Velocidade < Distância e Densidade |
| 6 | Densidade < Distância e Velocidade |

3.4.3.2 Resultados

Como podemos ver na Figura 3.3a, para o cenário denso, as categorias 2 e 6 apresentam menor atraso médio de entrega. Portanto, o coeficiente de velocidade deve ser maior que o de distância e este maior que o de densidade. Nesse cenário, a densidade não impactou pois todas as ruas possuem um número considerável de veículos, logo, os veículos com maior velocidade e mais próximos ao destino do pacote são os melhores para retransmiti-lo.

Por outro lado, a Figura 3.3b mostra que, para cenários esparsos, o coeficiente de densidade impacta mais que os de velocidade e distância em termos de taxa de entrega, uma vez que as categorias 1 e 4 obtiveram os melhores resultados. Nesse cenário, há poucos veículos, portanto, enviar pacotes por ruas que possuem maior densidade contribuiu para melhorar os resultados.

Dados os resultados dos experimentos, foi atestado que dois conjuntos de coeficientes da métrica geraram os melhores resultados: 10, 100, 1 para cenários densos e 1, 10, 100 para cenários esparsos. Estes valores se referem aos fatores de distância, velocidade e densidade (θ , λ , μ), respectivamente. Eles foram escolhidos de forma que quanto maior o valor, maior o impacto do respectivo fator no resultado final da métrica. Por exemplo, caso o coeficiente de velocidade seja 100 e o de distância seja 10, então o fator de velocidade tem mais impacto que o de distância.



(a) Atraso médio em cenários densos.

(b) Taxa de entrega em cenários esparsos.

Figura 3.3: Resultados dos experimentos de ajuste de coeficientes da métrica.

Capítulo 4

Simulação e Resultados

Para avaliar os protocolos TODD e CTODD, experimentos de simulação foram realizados utilizando o simulador NS-2 [Mccanne et al., 2007]. O gerador de mobilidade SUMO [Behrisch et al., 2011] foi utilizado para criar modelos de mobilidade realísticos que foram utilizados nas simulações. Ambos os protocolos foram avaliados em comparação aos protocolos SADV [Ding & Xiao, 2010], GyTAR [Jerbi et al., 2009] e CBF [Füßler et al., 2004].

Estes protocolos foram escolhidos por possuírem características bastante relacionadas com os protocolos propostos. O SADV utiliza estações fixas nas interseções para disseminar pacotes quando não há veículos disponíveis, processo semelhante ao realizado no CTODD. O GyTAR calcula estimativas da densidade de veículos nas ruas e escolhe dinamicamente o caminho de disseminação, o qual se relaciona com a técnica utilizada no TODD. Por fim, o CBF é um protocolo baseado em *broadcasts* que leva em conta a distância dos veículos ao destino para selecionar os veículos que participam da disseminação. TODD e CTODD realizam um processo parecido, porém levam em conta também a velocidade dos veículos e a densidade de veículos nas ruas.

4.1 Metodologia de Simulação

Dois cenários foram utilizados nos experimentos de simulação. O primeiro consiste em um *grid* composto por 30 interseções e ruas de 750 metros de comprimento. Uma ilustração de uma parte deste cenário é mostrada na Figura 4.1. Com o intuito de realizar experimentos mais realísticos, o outro cenário foi baseado na região central de Belo Horizonte (Figura 4.2).

Com o intuito de avaliar o comportamento dos protocolos em cenários com diferentes características de tráfego de veículos, cada um dos cenários avaliados possui

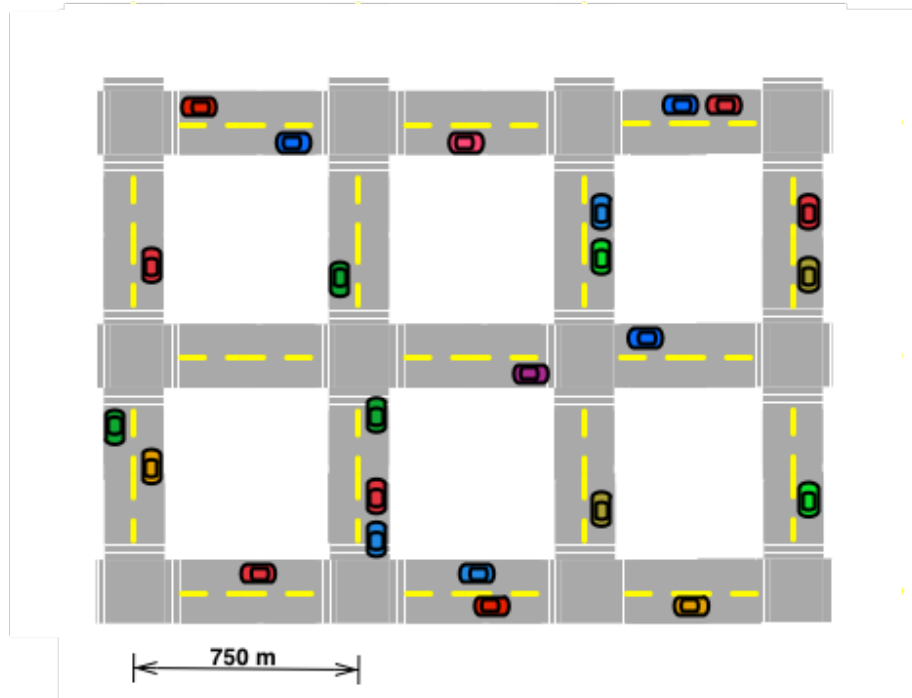


Figura 4.1: Ilustração de parte do cenário de grid.

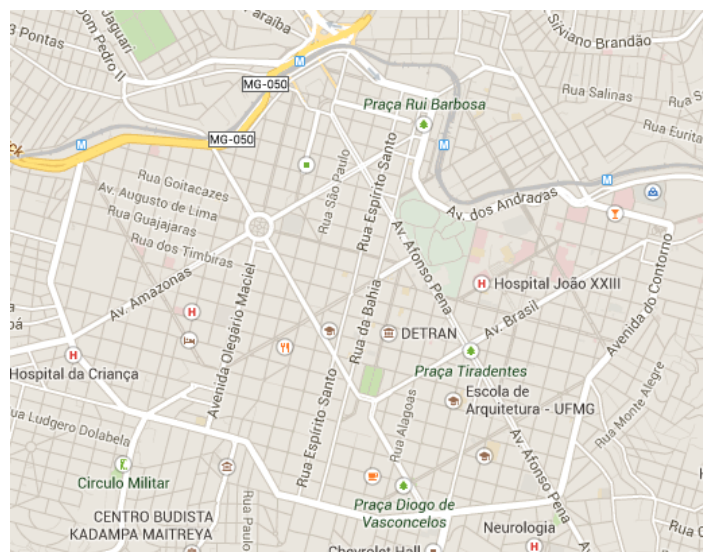


Figura 4.2: Região na qual o cenário de Belo Horizonte foi baseado.

uma versão densa e uma esparsa. Na versão densa, 2 carros foram gerados por segundo. Já na esparsa, a simulação gera 0.5 carros por segundo, isto é, 1 carro a cada 2 segundos. Por isso, houve um tempo de espera de 100 segundos antes de iniciar o envio de pacotes, até que houvesse uma homogênea distribuição de carros pelo cenário. Visando simulações mais realísticas, 10 tipos de veículos foram utilizados (ver Tabela

4.1). Cada tipo possui seus próprios valores para velocidade máxima, aceleração e tamanho, baseados em características de veículos reais. A quantidade de veículos de cada tipo é uniformemente distribuída nas simulações.

Tabela 4.1: Características dos Veículos Utilizados nos Experimentos

| Veículo | Aceleração (m/s^2) | Desaceleração (m/s^2) | Comprimento (m) | Velocidade Máxima (m/s) |
|---------|---------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | 2.1 | 7 | 4 | 55 |
| 2 | 2 | 7 | 4 | 50 |
| 3 | 1.7 | 6 | 4 | 40 |
| 4 | 1.7 | 6 | 4.5 | 40 |
| 5 | 1.4 | 6 | 3.5 | 35 |
| 6 | 1.1 | 5 | 5 | 35 |
| 7 | 1.05 | 4 | 15 | 30 |
| 8 | 0.9 | 4 | 3.5 | 20 |
| 9 | 1.0 | 4 | 3.5 | 25 |
| 10 | 1.0 | 4 | 4 | 25 |

A metodologia de simulação pode ser dividida em duas partes. Primeiramente, para cada cenário, um par de veículos de origem e destino a uma determinada distância é aleatoriamente escolhido. Na segunda parte, a disseminação de dados é realizada entre a origem e destino, utilizando os protocolos, quatro taxas de envio de pacotes: 0.5, 1, 5 e 10 pacotes por segundo e uma das versões do cenário (densa ou esparsa). Deste modo, cada experimento de simulação consiste em um veículo de origem disseminando pacotes a uma dada taxa de envio, usando um dos protocolos avaliados e em um dos dois tipos de cenários densos e esparsos. Os experimentos foram repetidos 60 vezes em cada cenário.

Os coeficientes de peso da métrica do TODD e CTODD, θ , λ e μ , (veja Equação 1) foram atribuídos de acordo com cada tipo de cenário, como descrito na seção 3.4.3. Três coeficientes de peso foram utilizados: 1, 10 e 100. Como os fatores da métrica são normalizados para valores entre 0 e 1, os valores dos coeficientes foram escolhidos para assegurar que o impacto de cada fator é diretamente proporcional ao valor do seu coeficiente. Por exemplo, se o coeficiente de distância é 100 e o de velocidade é 10, a distância tem um maior impacto que a velocidade durante a escolha do próximo veículo retransmissor. Os parâmetros de simulação são sumarizados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Parâmetros de Simulação

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Cenário 1 | <i>Grid</i> - 3000 x 3750 m^2 |
| Cenário 2 | Centro de Belo Horizonte |
| Taxa de criação de veículos | 0.5, 2 veículos/s |
| Tamanho do pacote | 100 bytes |
| Taxa de envio | 0.5, 1, 5, 10 pacotes/s |
| Tempo de simulação (envio de pacotes) | 300 s |
| Padrão sem fio | IEEE 802.11 |
| Modelo de propagação | TwoRayGround |
| Alcance do sinal | 250 m |
| Intervalo de espera do RTS/ACK | 2 s |
| θ, λ, μ - Denso | 10, 100, 1 |
| θ, λ, μ - Esparso | 1, 10, 100 |

4.2 Resultados

Três métricas foram utilizadas para avaliar os resultados de simulação: (i) taxa de entrega de pacotes, (ii) atraso de entrega e (iii) *overhead* causado por pacotes de controle. Gráficos com os resultados foram plotados para cada tipo de cenário. Os resultados são reportados com um intervalo de confiança de 95%. Os resultados foram divididos de acordo com os cenários utilizados. Quando os experimentos foram realizados no cenário de *Grid*, o protocolo GyTAR não tinha sido implementado. Dessa forma, os resultados do GyTAR são mostrados apenas no cenário de Belo Horizonte.

4.2.1 Cenário de *Grid*

4.2.1.1 Taxa de Entrega de Pacotes

A taxa de entrega de pacotes consistiu em avaliar o número médio de pacotes que foram entregues com sucesso ao destino (veja Figura 4.3). Em todas as taxas de envio, TODD e CTODD obtiveram uma maior porcentagem de pacotes recebidos. No cenário denso, quando 5 pacotes por segundo foram enviados, TODD atingiu uma melhoria de quase 80% quando comparado ao SADV. No cenário esparsos, a melhoria foi de mais de 90% quando comparado ao CBF. TODD e CTODD geraram resultados semelhantes em ambos os cenários, porém o TODD apresentou resultados um pouco superiores.

No cenário esparsos (veja Figura 4.3b), o protocolo CBF apresentou o pior resultado de todos, entregando pouquíssimos pacotes. O CBF é um protocolo baseado em *broadcasts* direcionais e não possui nenhuma técnica para tratar os problemas de par-

tição e fragmentação da rede. Logo, é necessário um caminho conectado para que este protocolo consiga enviar os pacotes ao destino. No cenário esparsos, caminhos conectados entre origem e destino são praticamente inexistentes, assim, o protocolo obteve uma crítica queda no desempenho.

No cenário denso (veja Figura 4.3a), percebe-se que o protocolo SADV obteve uma grande queda na performance quando 5 e 10 pacotes foram enviados por segundo. O SADV utiliza estações fixas para armazenar pacotes quando não há veículos retransmissores adequados. Caso uma estação fixa perca muito tempo esperando que um veículo retransmissor seja detectado em uma dada rua do caminho do pacote, ele pode permanecer armazenado nela por muito tempo. Quando a taxa de pacotes aumenta, as estações fixas precisam armazenar mais pacotes. Assim, muitos pacotes foram perdidos devido ao armazenamento cheio das estações. O CTODD utiliza estações fixas que armazenam pacotes, porém, seu processo de seleção dinâmica de retransmissores possibilita que o melhor veículo adequado no momento, independente da rua em que esteja localizado, retransmita os pacotes. Assim, as estações fixas enviam mais pacotes rapidamente e abrem espaço para futuros pacotes que podem chegar.

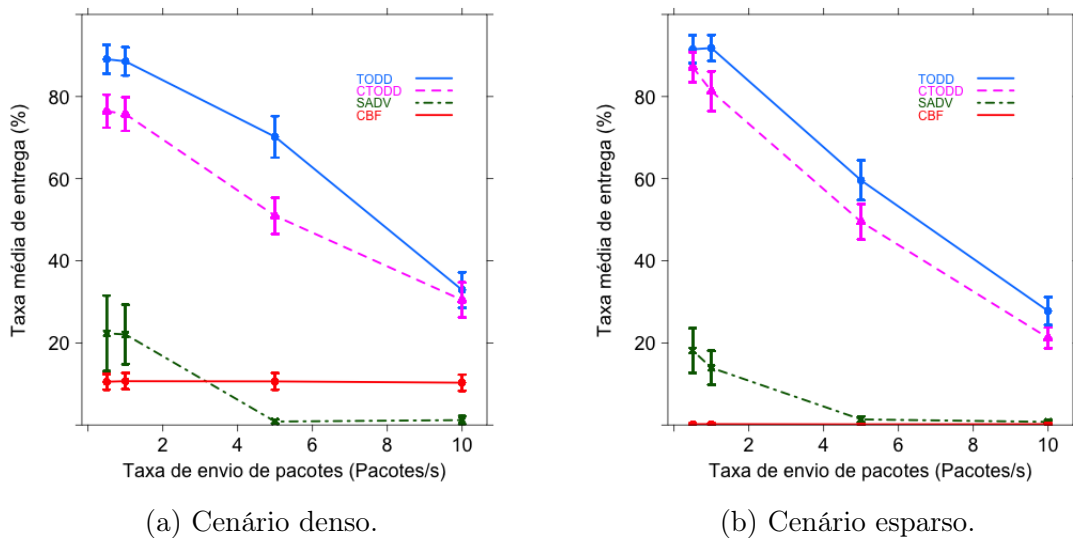


Figura 4.3: Taxa média de entrega de pacotes no cenário de *grid*.

Além de possuir melhores resultados, TODD e CTODD apresentaram resultados similares em ambos os cenários, como pode ser atestado através das curvas e intervalos de confiança. Esses resultados são explicados pelo método de seleção dinâmica de próximos retransmissores dos pacotes. Modificando os coeficientes de peso da métrica de acordo com o cenário, bons resultados podem ser obtidos independentemente das características do cenário.

4.2.1.2 Atraso de Entrega

O atraso de entrega mede o tempo médio gasto para entregar os pacotes ao destino. As Figuras 4.4a e 4.4b mostram os resultados para TODD, CTODD, SADV e CBF considerando o cenário denso e o esparso, respectivamente. Em ambos os cenários, TODD e CTODD obtiveram um menor atraso em comparação ao SADV. O cenário esparso apresentou o resultado mais extremo, onde uma diferença média de mais de 100 segundos foi obtida quando 10 pacotes por segundo foram enviados.

Pode-se observar que os intervalos de confiança do SADV são muito largos. Neste protocolo, quando um pacote chega em uma estação fixa, precisa esperar até que um veículo seja detectado na próxima rua do seu caminho de disseminação para que seja retransmitido. No entanto, alguns pacotes chegavam às estações e já podiam ser retransmitidos devido a presença de vizinhos adequados. Tais casos contribuíram para a queda no desempenho e o comportamento imprevisível do SADV.

No cenário denso (veja Figura 4.4a), o atraso de entrega do SADV foi impactado pelos pacotes que precisaram esperar a detecção de um retransmissor adequado nas estações fixas, levando a um maior atraso. Nota-se também que o SADV tende a aumentar o atraso médio de entrega à medida que a taxa de envio de pacotes aumenta. Similarmente, em cenários esparsos (veja Figura 4.4b), como a menor quantidade de veículos torna mais difícil para as estações fixas encontrar retransmissores adequados, o SADV também levou mais tempo para realizar esse processo. No CTODD, as estações fixas retransmitem os pacotes para o veículo vizinho mais adequado para recebê-los, contribuindo para o menor atraso.

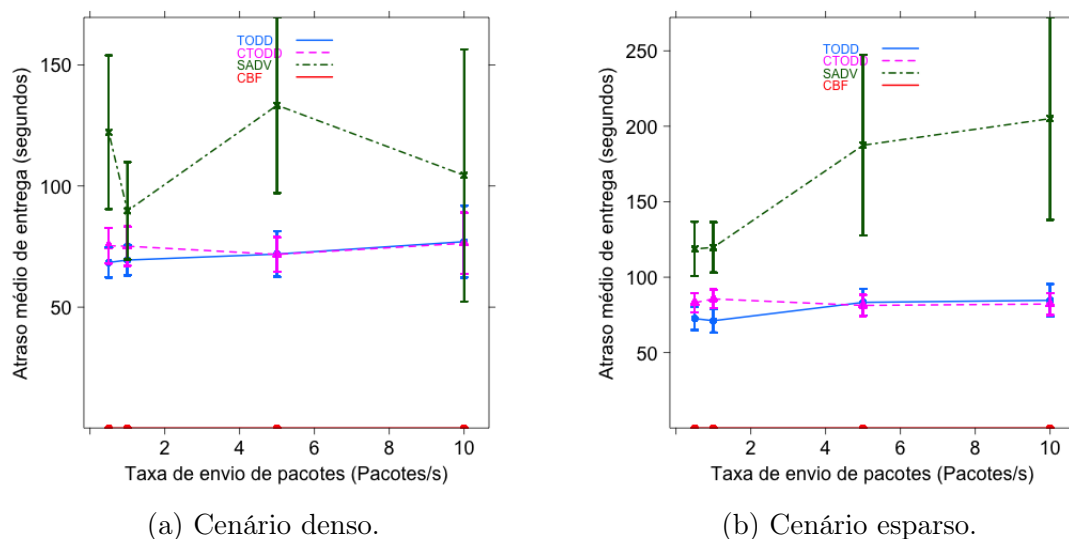


Figura 4.4: Atraso médio de entrega de pacotes no cenário de *grid*.

Mais uma vez, um importante resultado é que TODD e CTODD obtiveram um comportamento mais estável que o SADV. No cenário denso, como a densidade de veículos é alta na maior parte das ruas, a métrica utilizada pelo método proposto de seleção dinâmica do próximo retransmissor dá preferência aos veículos com maior velocidade e mais próximos ao destino do pacote. Por outro lado, em cenários esparsos, a preferência foi dada ao fator de densidade, enviando pacotes por ruas que possuem mais veículos. Isso contribuiu para manter o atraso de entrega menor que o SADV, mesmo com poucos veículos no cenário.

Como o CBF apenas dissemina pacotes por caminhos conectados, seu atraso de entrega foi impactado apenas pela comunicação *hop-to-hop* utilizada por pacotes que atingiram o destino, permitindo um menor atraso médio de entrega quando comparado com outros protocolos. No entanto, quando este resultado é comparado com sua baixa taxa de entrega, não traduz um bom resultado em geral.

4.2.1.3 *Overhead* Causado Por Pacotes de Controle

Os protocolos foram avaliados também em termos do número de pacotes de controle enviados durante as simulações. O protocolo CBF não precisa de pacotes de controle específicos durante a disseminação. Assim, decidiu-se avaliar o impacto do CBF no *overhead* da rede através de seus *broadcasts*. Cada vez que um veículo realiza um *broadcast* de um pacote de dados é contado um pacote a mais de *overhead*.

No cenário denso (veja Figura 4.5a), TODD e CTODD obtiveram melhores resultados em todas as taxas de envio em comparação ao SADV. O SADV possui um módulo responsável por fazer a estimativa do atraso entre as interseções. Para isso, cada estação fixa necessita estar constantemente enviando pacotes de controle para cada uma das estações fixas vizinhas, isto é, as próximas estações seguindo suas ruas adjacentes. Este processo leva a um aumento no *overhead* da rede. Além disso, com o aumento na taxa de envio, mais pacotes precisam ser enviados para descobrir o melhor caminho de disseminação de cada pacote de dados.

O CTODD obteve uma taxa de *overhead* maior que o TODD. Isto é causado por que, além dos pacotes de controle para realizar a disseminação entre as estações fixas, estas precisam estar constantemente enviando pacotes para descobrir os seus vizinhos e avaliar o estado do tráfego de veículos nas ruas adjacentes. Como um dos princípios do TODD é que as informações de trânsito estão armazenadas nos veículos, ele não precisa enviar pacotes de controle para coletar tais informações.

O CBF faz a disseminação dos pacotes de dados utilizando um *broadcast* direcional, isto é, apenas o veículo vizinho que está mais próximo do destino retransmite o

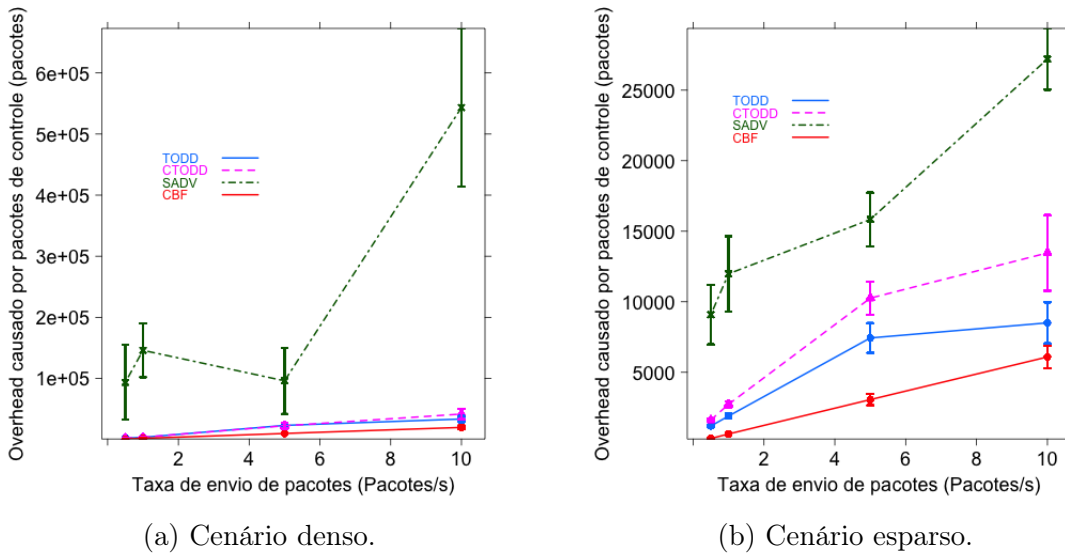


Figura 4.5: *Overhead* causado por pacotes de controle no cenário de *grid*.

pacote. Isso contribuiu para um menor taxa de *overhead* em geral.

4.2.2 Cenário de Belo Horizonte

4.2.2.1 Taxa de Entrega de Pacotes

No cenário mais realístico, percebe-se que TODD e CTODD ainda assim conseguem resultados superiores aos protocolos avaliados (veja Figura 4.6), perdendo apenas para o CBF quando 10 pacotes por segundo foram enviados no cenário denso. No cenário denso (Figura 4.6a), o TODD contribuiu para uma melhoria de 40% em termos de entrega de pacotes, em comparação ao protocolo GyTAR, a uma taxa de 5 pacotes por segundo. No cenário esparsos (Figura 4.6b), TODD enviou até 55% mais pacotes que SADV, quando 0.5 pacotes por segundo foram enviados.

Devido a abordagem baseada em *broadcasts* do CBF, ele atinge resultados melhores até mesmo em comparação a protocolos mais complexos como o SADV e o GyTAR em cenários densos. Nesse tipo de cenário, é fácil encontrar um caminho conectado do veículo de origem ao destino, tornando a técnica de *broadcast* mais efetiva e confiável. Já no cenário esparsos, percebe-se que, por causa da falta desses caminhos, o CBF é o que atinge o pior resultado dentre os protocolos avaliados.

4.2.2.2 Atraso de Entrega

No caso do atraso na entrega, os protocolos obtiveram resultados semelhantes no cenário denso (veja Figura 4.7a). O GyTAR gerou um atraso ligeiramente superior aos

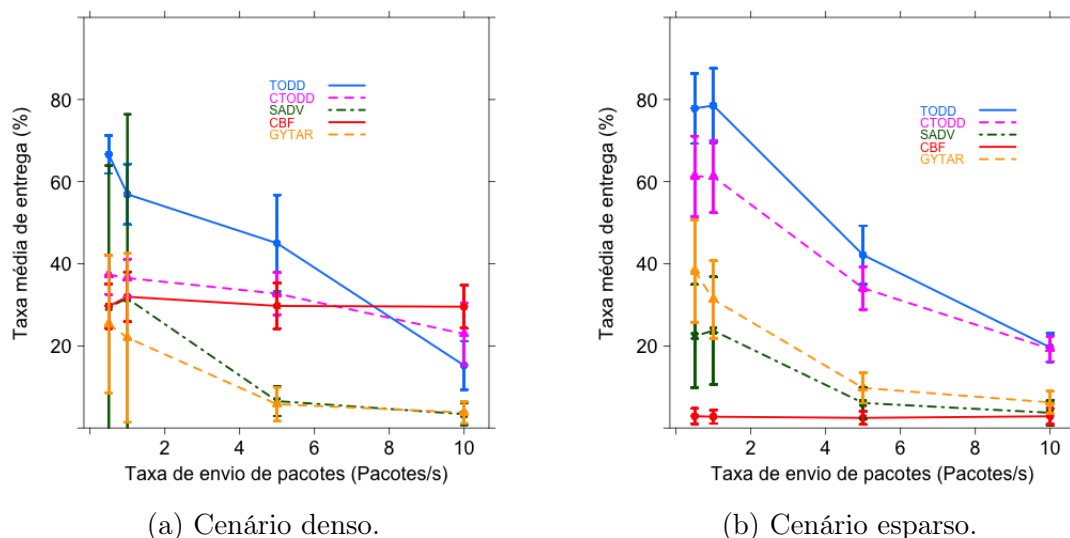


Figura 4.6: Taxa média de entrega de pacotes no cenário de Belo Horizonte.

demais em ambos os cenários. No cenário esparsos (Figura 4.7b), o TODD apresentou o comportamento mais estável em comparação ao CTODD, SADV e GyTAR. No cenário denso (Figura 4.7a), TODD e CTODD atingiram até 45 segundos de diferença quando comparados ao GyTAR.

Assim como no cenário de *grid*, podemos perceber os largos intervalos de confiança do protocolo SADV, causado por pacotes que são armazenados em estações fixas. No GyTAR, o processo de estimativa de densidade de veículos das ruas pode ter levado a escolha de caminhos muito ruins devido à alta taxa de dinamicidade do cenário, composto por veículos com características distintas. Esses comportamentos levaram aos largos intervalos de confiança dos protocolos, mesmo com a quantidade de 60 repetições.

No CBF, todos os pacotes que chegaram ao destino foram transmitidos por meio de um caminho conectado utilizando *broadcasts*. Como o atraso de entrega foi medido apenas através de pacotes que chegaram ao destino, o CBF apresentou o menor atraso, impactado apenas pela rápida comunicação *hop-to-hop*.

4.2.2.3 Overhead Causado Por Pacotes de Controle

Nos resultados referentes ao *overhead* por pacotes de controle (Figura 4.8), ocorreu um comportamento semelhante ao avaliado no cenário de *grid*. No cenário esparsos (Figura 4.8b), TODD gerou até 85% menos *overhead* quando comparado ao SADV. No cenário denso (Figura 4.8a), os resultados foram ainda melhores, onde ambos os protocolos propostos geraram até 97% menos pacotes de controle que o SADV e até 95% menos

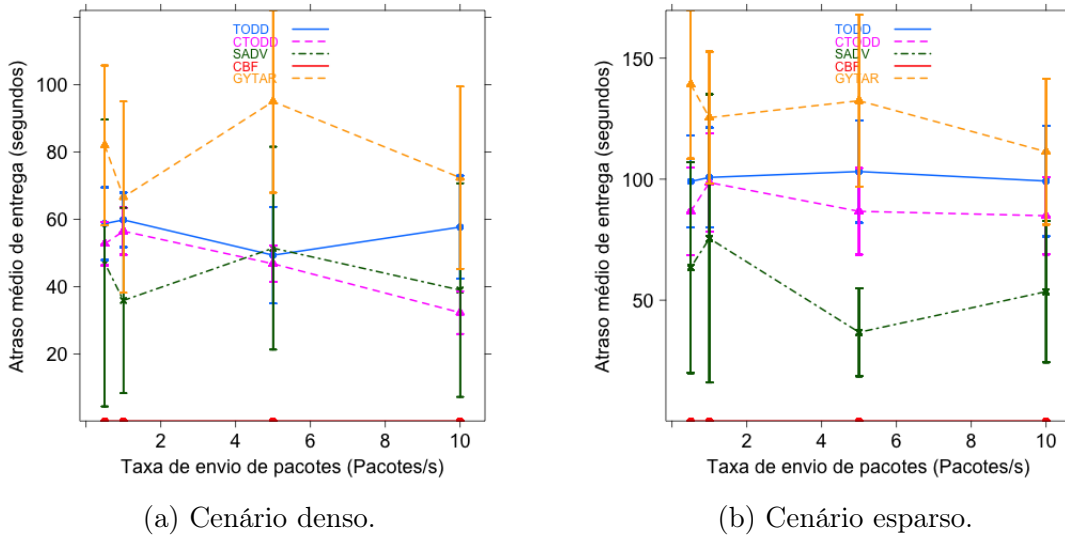


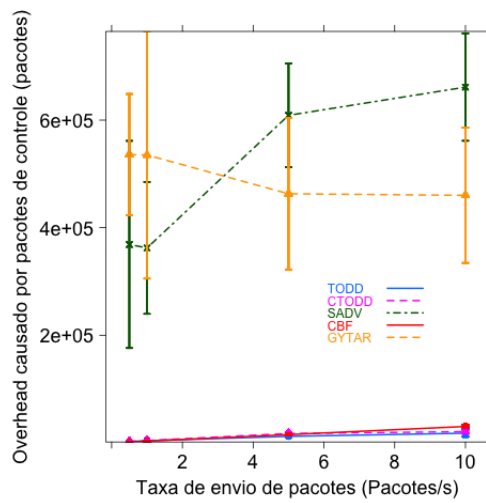
Figura 4.7: Atraso médio de entrega de pacotes no cenário de Belo Horizonte.

que o GyTAR, quando 10 pacotes por segundo foram enviados.

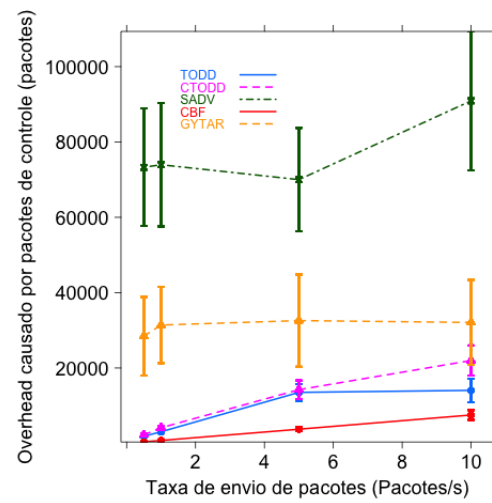
O protocolo SADV obteve um *overhead* em média muito superior que os outros protocolos, principalmente no cenário espars. Este resultado também foi causado pelos processos para calcular estimativas de atraso utilizado pelo SADV, assim como avaliado no cenário de *grid*.

O protocolo GyTAR possui um módulo que estima a densidade de veículos nas ruas, dividindo estas em setores e elegendo um líder para cada setor, isto é, o veículo mais próximo do centro da célula. No cenário denso, devido a alta taxa de mobilidade do cenário, o protocolo gerou muito mais *overhead* pois precisou constantemente estar enviando pacotes de controle para a eleição de líderes. Além disso, muitos pacotes de controle também foram enviados para realizar a estimativa de densidade de veículos nas ruas.

Novamente, percebem-se comportamentos do TODD e do CTODD similares ao cenário de *grid*, indicando que, independentemente do cenário, estes protocolos conseguem manter uma boa performance.



(a) Cenário denso.



(b) Cenário esparsos.

Figura 4.8: *Overhead* causado por pacotes de controle no cenário de Belo Horizonte.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusão

Este trabalho apresentou o TODD, um protocolo de disseminação de dados para redes veiculares que leva em conta informações de tráfego de veículos em tempo real para se adaptar a diferentes cenários veiculares. Além disso, propõe-se a versão centralizada do TODD para quando informações de tráfego de veículos não estiverem disponíveis, o CTODD. Este protocolo utiliza estações fixas localizadas nas interseções do cenário para avaliar o tráfego de veículos em cada uma das ruas. A adaptação dos protocolos ocorre através do uso da nova técnica de seleção dinâmica de próximos veículos retransmissores, uma modificação do método RTS/CTS que calcula uma métrica para cada veículo candidato.

A métrica é utilizada para escolher o melhor veículo para receber os pacotes baseado nos fatores distância ao destino, velocidade e densidade de veículos. O aspecto chave do método é a estrutura da métrica, a qual torna possível atribuir maiores coeficientes de peso a fatores que possuem maior impacto nos resultados em cada tipo de cenário. Experimentos de ajuste de coeficientes da métrica foram realizados para avaliar quais fatores impactam mais em cenários densos e esparsos. Em cenários densos, utilizar veículos mais rápidos e próximos ao destino levou a melhores resultados. Já no cenário esparsos, utilizar veículos presentes em ruas com maior densidade de veículos impactou positivamente mais nos resultados.

Simulações mostram que tanto o TODD quanto o CTODD conseguem obter os melhores resultados em ambos os cenários avaliados e com diferentes quantidades de veículos. No cenário de *grid*, o TODD atingiu uma melhoria de 80% em comparação ao SADV quanto à taxa de entrega. No atraso de entrega, TODD e CTODD conseguiram atingir uma diferença de mais de 100 segundos quando comparado ao SADV. No

overhead causado por pacotes de controle, ambos os protocolos propostos obtiveram melhores resultados que o protocolo SADV, em todos os cenários avaliados.

Com o intuito de realizar experimentos mais realísticos, os protocolos foram avaliados também em um cenário baseado na região central da cidade de Belo Horizonte. Neste cenário, o TODD conseguiu atingir uma melhoria de 40% em termos de entrega de pacotes, em comparação ao protocolo GyTAR. A melhoria chegou a 55% no cenário esparsos. Os resultados foram bem melhores ainda quanto à métrica de *overhead* causado por pacotes de controle. Neste caso, ambos os protocolos propostos neste trabalho obtiveram resultados significativamente melhores que o SADV e o GyTAR. Eles geraram até 97% menos *overhead* no cenário esparsos e até 85% menos no cenário denso. Tais resultados atestam que TODD e CTODD conseguem entregar mais pacotes gerando menos *overhead* que importantes protocolos da literatura. Na métrica de atraso de entrega, ambos os protocolos obtiveram, em média, melhores resultados que o protocolo GyTAR, chegando a uma diferença de 45 segundos.

Tais resultados, juntamente com os resultados dos experimentos de ajuste de coeficientes da métrica, comprovam que o TODD e o CTODD conseguem entregar mais pacotes que outros protocolos do estado-da-arte com menor atraso de entrega e menos pacotes de controle, independentemente do estado do tráfego de veículos e cenário avaliado.

5.2 Limitações

Os protocolos foram avaliados com veículos de destino parados para facilitar a avaliação do atraso de entrega. Dessa forma, modificações nos protocolos propostos são necessárias para que mantenham seus bons resultados com destinos móveis. Além disso, os protocolos propostos não tratam mudanças de densidade em um mesmo cenário, isto é, não possuem técnicas para atribuir dinamicamente os coeficientes com base nas informações de trânsito.

5.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, é planejado desenvolver e integrar um algoritmo de predição de tráfego de veículos para ser utilizado em conjunto com bancos de dados estatísticos e históricos de trânsito, quando fontes *online* dessas informações não estiverem disponíveis.

Estudos serão feitos para o desenvolvimento de uma técnica para a atribuição dinâmica de coeficientes de peso da métrica de seleção dinâmica de retransmissores, com base em informações de trânsito em tempo real. Um mesmo cenário pode variar entre denso e esparso muitas vezes durante o dia. Essa técnica será responsável por detectar a mudança de densidade de veículos, calcular os novos coeficientes da métrica e disseminá-los para os veículos da rede.

Também será avaliada a utilização do TODD e CTODD ao mesmo tempo durante a disseminação, em cenários heterogêneos, onde apenas uma parte dos veículos pode estar conectada à Internet. Além disso, modelar-se-á cenários mais complexos do mundo real e modelos de mobilidade mais realísticos dos veículos.

Referências Bibliográficas

- Alves, R.; do V. Campbell, I.; de S. Couto, R.; Campista, M. E. M.; Moraes, I. M.; Rubinstein, M. G.; Costa, L. H. M. K.; Duarte, O. C. M. B. & Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pp. 199--254.
- Behrisch, M.; Bieker, L.; Erdmann, J. & Krajzewicz, D. (2011). Sumo - simulation of urban mobility: An overview. Em *Proceedings of the Third International Conference on Advances in System Simulation*, pp. 63--68.
- Boukerche, A.; de Oliveira, H. A. B. F.; Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2008). Localization in ad-hoc vehicular networks. Em *Stephan Olariu and Michele C. Weigle. (Org.). Vehicular Networks: From Theory to Practice*.
- Brickley, O.; Shen, C.; Klepal, M.; Tabatabaei, A. & Pesch, D. (2007). A data dissemination strategy for cooperative vehicular systems. Em *Proceedings of the 65th IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 2501--2505.
- Chang, I.-C.; Wang, Y.-F. & Chou, C.-F. (2011). Efficient vanet unicast routing using historical and real-time traffic information. Em *Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems*, pp. 458--464. IEEE Computer Society.
- Chen, W.; Guha, R.; Kwon, T.; Lee, J. & Hsu, I. (2008). A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad-hoc networks. Em *Proceedings of the IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp. 328--333.
- Chou, L.-D.; Yang, J.-Y.; Hsieh, Y.-C.; Chang, D.-C. & Tung, C.-F. (2011). Intersection-based routing protocol for vanets. *Wireless Personal Communications*, 60(1):105--124. ISSN 0929-6212.

- Ding, Y. & Xiao, L. (2010). Sadv: Static-node-assisted adaptive data dissemination in vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(5):2445–2455. ISSN 0018-9545.
- Eichler, S.; Schroth, C.; Kosch, T. & Strassberger, M. (2006). Strategies for context-adaptive message dissemination in vehicular ad hoc networks. Em *Proceedings of the Second International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications*.
- Faezipour, M.; Nourani, M.; Saeed, A. & Addepalli, S. (2012). Progress and challenges in intelligent vehicle area networks. *Commun. ACM*, 55(2):90–100. ISSN 0001-0782.
- Fasolo, E.; Zanella, A. & Zorzi, M. (2006). An Effective Broadcast Scheme for Alert Message Propagation in Vehicular Ad hoc Networks. *IEEE International Conference on Communications*, 9:3960--3965.
- Füßler, H.; Hartenstein, H.; Mauve, M.; Effelsberg, W. & Widmer, J. (2004). Contention-based forwarding for street scenarios. Em *Proceedings of the 1st International Workshop in Intelligent Transportation*.
- Huzita, E.; de Souza, T. & Kabuki, Y. (2012). A system to capture and generation of traffic information from posted messages on social networks. Em *Proceedings of the 2012 Brazilian Symposium on Collaborative Systems*, pp. 174–180.
- Jerbi, M.; Senouci, S. M.; Rasheed, T. & Ghamri-Doudane, Y. (2009). Towards efficient geographic routing in urban vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(9):5048–5059. ISSN 0018-9545.
- Karp, B. & Kung, H. T. (2000). Gpsr: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. Em *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 243--254. ACM.
- Korkmaz, G.; Ekici, E.; Özgüner, F. & Özgüner, U. (2004). Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. Em *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 76--85. ACM.
- Lee, J.-W.; Lo, C.-C.; Tang, S.-P.; Horng, M.-F. & Kuo, Y.-H. (2011). A hybrid traffic geographic routing with cooperative traffic information collection scheme in vanet. Em *Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp. 1496 –1501. ISSN 1738-9445.

- Leontiadis, I. & Mascolo, C. (2007). Geopps: Geographical opportunistic routing for vehicular networks. Em *Proceedings of the IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 1–6.
- Li, F. & Wang, Y. (2007). Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, pp. 12–22.
- Lin, Y.-W.; Chen, Y.-S. & Lee, S.-L. (2010). Routing protocols in vehicular ad hoc networks: A survey and future perspectives. *J. Inf. Sci. Eng.*, 26(3):913–932.
- Maihöfer, C. & Eberhardt, R. (2004). Geocast in vehicular environments: Caching and transmission range control for improved efficiency. Em *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 522–527, Parma, Italy.
- Mccanne, S.; Floyd, S. & Fall, K. (2007). ns2 (network simulator 2). <http://www-nrg.ee.lbl.gov/ns/>.
- Nadeem, T.; Shankar, P. & Iftode, L. (2006). A comparative study of data dissemination models for vanets. Em *Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services*, pp. 1–10.
- Ni, S.-Y.; Tseng, Y.-C.; Chen, Y.-S. & Sheu, J.-P. (1999). The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. Em *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 151–162, New York, NY, USA. ACM.
- Nzouonta, J.; Rajgure, N.; Wang, G. & Borcea, C. (2008). Vanet routing on city roads using real-time vehicular traffic information. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- Perkins, C. E. & Royer, E. M. (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing. Em *Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 90–100.
- Ranjan, P. & Ahirwar, K. K. (2011). Comparative study of vanet and manet routing protocols. Em *Proceedings of the International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies*.
- Rathod, M.; Mahgoub, I. & Slavik, M. (2011). A hybrid data dissemination scheme for vanets. Em *Proceedings of the IFIP Wireless Days*, pp. 1–7. ISSN 2156-9711.

- Skordylis, A. & Trigoni, N. (2008). Delay-bounded routing in vehicular ad-hoc networks. Em *Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 341--350, New York, NY, USA. ACM.
- Soares, R. B.; Nakamura, E. F.; Figueiredo, C. M. S. & Loureiro, A. A. F. (2012). Vcarp: Vehicular ad-hoc networks context-aware routing protocol. *Proceedings of the 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications*, 0:000442–000447. ISSN 1530-1346.
- Vanrompay, Y.; Yasar, A.-U.-H.; Preuveneers, D. & Berbers, Y. (2010). Context-aware optimized information dissemination in large scale vehicular networks. Em *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp. 41:1--41:8, New York, NY, USA. ACM.
- Wu, H.; Fujimoto, R.; Guensler, R. & Hunter, M. (2004). Mddv: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. Em *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 47--56, New York, NY, USA. ACM.
- Xue, G.; Li, Z.; Zhu, H. & Liu, Y. (2009). Traffic-known urban vehicular route prediction based on partial mobility patterns. Em *Proceedings of the 15th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, pp. 369--375, Washington, USA. IEEE Computer Society.
- Zhao, J. & Cao, G. (2006). Vadd: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. Em *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 1 –12. ISSN 0743-166X.