



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
TECNÓLOGO EM REDES DE COMPUTADORES

ALAN LUCAS SILVA MATIAS

**UM SISTEMA COOPERATIVO E DESCENTRALIZADO PARA O
MONITORAMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE
TRÂNSITO UTILIZANDO REDES VEICULARES**

**QUIXADÁ
2014**

ALAN LUCAS SILVA MATIAS

**UM SISTEMA COOPERATIVO E DESCENTRALIZADO PARA O
MONITORAMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE
TRÂNSITO UTILIZANDO REDES VEICULARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Tecnólogo em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo.

Área de concentração: computação

Orientadora Prof^a. Atslands Rego da Rocha
Coorientadora Prof^a. Ticiania Linhares Coelho da Silva

**QUIXADÁ
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do Campus de Quixadá

M38s Matias, Alan Lucas Silva
Um sistema cooperativo e descentralizado para o monitoramento e disponibilização das condições de trânsito utilizando redes veiculares/ Alan Lucas Silva Matias. – 2014.
41 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2014.
Orientação: Prof. Dra. Atslands Rego da Rocha
Área de concentração: Computação

1. Redes Veiculares 2. Gestão de trânsito 3. Controle de tráfego I. Título.

CDD 388.31

ALAN LUCAS SILVA MATIAS

**UM SISTEMA COOPERATIVO E DESCENTRALIZADO PARA O
MONITORAMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRÂNSITO
UTILIZANDO REDES VEICULARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Tecnólogo em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo.

Área de concentração: computação

Aprovado em: _____ / _____ / 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Atslands Rego da Rocha (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof^a. MSc. Ticiania Linhares Coelho da Silva
(Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Michel Sales Bonfim
Universidade Federal do Ceará-UFC

AGRADECIMENTOS

Às professoras e orientadoras, Atslands Rego da Rocha e Ticiania Linhares Coelho da Silva, pelo empenho, suporte e contribuição para minha formação.

Ao meu irmão, Jhonata Adam Silva Matias, pelo apoio e contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

À minha mãe, Joana Darc Silva Matias, por estar sempre presente.

À Natasha Silveira e Marcelo Gonçalves, por sempre acreditarem que daria certo.

Aos meus amigos, por proporcionar momentos de lazer, pela motivação, e pelo apoio.

"Eu já nem lembro "pronde" mesmo que vou,
mas vou até o fim"
(Chico Buarque – Até o fim)

RESUMO

A capacidade de estimar, prever e apresentar as condições das vias para os condutores dos veículos se torna uma necessidade fundamental para aplicações que buscam monitorar tais condições, reduzir congestionamentos e diminuir tempos de viagens no trânsito de forma efetiva. Redes veiculares vem tendo bastante destaque nos meios de pesquisa, trazendo a proposta de caracterizar o tráfego de veículos de forma mais dinâmica e inteligente, provendo novas aplicações para o trânsito, e novas formas de como os dados podem ser coletados, agregados e disseminados. Neste trabalho é proposto um sistema para realizar o monitoramento e disponibilização das condições de trânsito utilizando uma rede veicular. Os experimentos foram conduzidos por meio de simulações utilizando o *framework* Veins, o qual é uma agregação do simulador de rede OMNeT++ com o simulador de tráfego SUMO.

Palavras chave: Redes Veiculares. V2I. Modelo Determinístico. Monitoramento do Trânsito.

ABSTRACT

The capacity to estimate, predict and show the conditions of the roads for drivers becomes a fundamental requirement for many applications that aim to monitor such conditions, reduce traffic jams and decrease travel time effectively. Vehicular networks has had a lot of attention in the research groups, bringing the proposal to characterize the traffic of vehicles in the way more dynamical and intelligent, providing new applications for transit, and new ways of how datas can be collected, aggregated and disseminated. In this work a system is proposed to perform the monitoring and provision of traffic conditions using a vehicular network. The experiments were conducted by simulation using the Veins framework, which is an aggregation of the network simulator OMNeT++ with the traffic simulator SUMO.

Keywords: Vehicular Network. V2I. Deterministic Model. Traffic Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cenário e Arquiteturas de uma rede veicular.....	16
Figura 2 – Faixa de frequência para aplicações DSRC.....	17
Figura 3 – Cenário e Arquiteturas de uma rede veicular.....	18
Figura 4 – Disposição das Unidades de Acostamento.....	25
Figura 5 – Contagem dos veículos e requisição da tabela de condição das vias.....	27
Figura 6 – Rede de Ruas.....	29
Figura 7 – Rota realizada pela Unidade de Bordo.....	32
Figura 8 – Perda de Pacotes na Unidade de Acostamento nos Cenários 1 e 2.....	34
Figura 9 – Requisições e Respostas.....	34
Figura 10 – Perda de Pacotes/Requisições Cenário 1.....	35
Figura 11 – Perda de Pacotes/Requisições Cenário 2.....	35
Figura 12 – Tempo para obtenção da tabela de condição das vias no CoDeTMS.....	36
Figura 13 – Sobreposição de tempo mínima para a estimativa e propagação da condição da via	37
Figura 14 – Cenário B.....	37
Figura 15 – Perda de Pacotes no Cenário B.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivo Geral.....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Organização.....	13
2 TRABALHOS RELACIONADOS.....	14
3 REDES VEICULARES.....	16
3.1 Padrão para Redes Veiculares.....	17
3.2 O protocolo WSMP.....	18
3.3 Simuladores para Redes Veiculares.....	19
3.3.1 Simuladores de tráfego.....	19
3.3.2 Simuladores de rede.....	20
3.3.3 Simulação em Redes Veiculares.....	21
4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA: CoDeTMS.....	23
4.1 Unidade de Acostamento.....	23
4.1.1 Estimativa da velocidade média da via/segmento.....	23
4.1.2 Comunicação entre as unidades de acostamento.....	24
4.1.3 Disponibilizar as condições das vias/segmentos.....	25
4.2 Unidade de Bordo.....	26
5 AVALIAÇÃO E RESULTADOS.....	29
5.1 Estimativa e Divulgação das condições de trânsito.....	29
5.2 Avaliação da Rede.....	32
5.2.1 Caracterização do tráfego de dados na comunicação V2I.....	32
5.2.2 Estimativa e propagação da condição da via.....	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	40
6.1 Contribuições.....	40
6.2 Trabalhos Futuros.....	40
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Segundo o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) (FROTA, 2013), a frota brasileira, que era de 29,5 milhões em 2000, cresceu para 81,6 milhões de veículos em 2013. Esses números correspondem a um crescimento igual a 2,7 vezes no período de 2000 à 2013. Deve-se ressaltar que cerca de 40,5 milhões de veículos dos 81,6 milhões, está concentrado na região sudeste do Brasil, que falando em termos de porcentagem, chega a 49,7% da frota veicular do Brasil em apenas uma região.

Os dados apresentados pelo DENATRAN refletem a crescente demanda de gerenciamento das vias públicas, principalmente em regiões saturadas por veículos, como é o caso da região Sudeste do Brasil. Esse aumento espantoso na frota veicular traz consequências que vão desde menor produtividade econômica, até danos causados ao meio ambiente devido as emissões atmosféricas causadas pelos veículos.

Como prova dessas consequências, de acordo com estudos recentes (CINTRA, 2013), somente na cidade de São Paulo, os custos gerados pelos congestionamentos no trânsito chegaram à R\$ 10 bilhões em 2012. Custos estes que comparados aos gerados em 2002, cerca de R\$ 7 bilhões, mostram as crescentes despesas devido a ocorrência de congestionamentos nas vias. Além disso, os custos relacionados ao tempo perdido no trânsito foram de R\$ 10,3 bilhões para R\$ 30,2 bilhões no mesmo período entre 2002 e 2012. Essa lentidão no trânsito influencia diretamente nas emissões atmosféricas, que segundo o INEA (*Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro*) (INEA, 2011), estima-se que os veículos contribuem com cerca de 77% das emissões atmosféricas apenas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), incluindo o CO² (*Gás Carbônico*).

Diante dessas adversidades, se torna de extrema importância o uso de sistemas de monitoramento e gestão de trânsito capazes de aliviar o fluxo nas vias. Embora já existam sistemas para a realização do monitoramento do trânsito, os sistemas automatizados começam a surgir para aprimorar a atividade de monitoramento.

As Redes Veiculares (ALVES *et al.* , 2009) tem tido destaque, sendo utilizado normalmente com o auxílio de um GPS (GARELLI *et al.* , 2011), o qual é utilizado para definir a posição e velocidade do veículo. Além dos sistemas que realizam o monitoramento do trânsito, são desenvolvidos sistemas capazes de divulgar as condições de trânsito para os condutores nas vias. Dentre eles: Google Maps (GOOGLE, 2014), uma ferramenta capaz de informar as condições de trânsito em tempo real sobre diversas vias em vários países, e o CET (*Companhia de Engenharia de Tráfego*) (CET, 2014), que disponibiliza informações sobre as

condições do tráfego de veículos em determinadas regiões da cidade de São Paulo em sua página *web*. Além disso, com o CET, os condutores dos veículos podem conseguir informações sobre o trânsito por meio do suporte via telefone. Entretanto, esses sistemas são dependentes de um elemento centralizador, responsável por agregar as condições do trânsito e divulgá-las para serem acessíveis através de uma conexão com a Internet, ou como no caso do CET, também por meio de uma rede pública de telefonia.

A capacidade de estimar, prever e disponibilizar as condições de trânsito se torna uma necessidade fundamental para aplicações que buscam monitorar, reduzir congestionamentos e diminuir os tempos de viagens no trânsito de forma efetiva. Para tal, o advento de Redes Veiculares (também conhecida como VANETs) (ALVES *et al.*, 2009) surge como uma nova proposta na qual vem sendo desenvolvidas diversas pesquisas com o intuito de prover um melhor e mais inteligente funcionamento do trânsito. As Redes Veiculares oferecem novas formas de como as informações de trânsito podem ser coletadas e disseminadas, sendo elas através da comunicação entre veículos (*Vehicle-to-Vehicle* – V2V) e/ou entre veículo e infraestrutura (*Vehicle-to-Infrastructure* – V2I).

Em tal contexto, este artigo propõe o CoDeTMS (*Cooperative and Decentralized Traffic Monitoring System*), um sistema cooperativo que realiza o monitoramento e disponibilização das condições de trânsito de uma maneira totalmente descentralizada. Para isso, informações sobre o trânsito são obtidas através da comunicação V2I, onde as unidades de acostamento (infraestruturas), são responsáveis por estimar a densidade da via e calcular sua velocidade média com base no tempo (por exemplo, a cada 10 segundos) e disponibilizar essas informações para os veículos (unidades de bordo). Já as unidades de bordo são responsáveis por participar da contagem dos veículos nas vias e realizar requisições para as unidades de acostamento a fim de obter as condições das vias que são disponibilizadas por elas.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é propor um sistema cooperativo e descentralizado para o monitoramento e disponibilização das condições de trânsito utilizando uma rede veicular infraestruturada.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar um método para a definição da condição das vias

- Elaborar um método para a coleta de dados dentro do ambiente veicular
- Elaborar um modelo de disponibilização dos dados

1.3 Organização

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 aborda os trabalhos relacionados com o CoDeTMS; a seção 3 faz uma revisão no conceito de redes veiculares, tratando do seu padrão de comunicação concebido pela IEEE, e do protocolo WSMP (*WAVE Short Message Protocol*); a seção 4 caracteriza de forma aprofundada o funcionamento do CoDeTMS; a seção 5 apresenta experimentos voltados para entender a melhor configuração para o CoDeTMS; e a seção 6 apresenta as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A maioria dos métodos existentes para realizar o monitoramento do trânsito utilizam ainda modelos com uma infraestrutura dedicada (por exemplo, sensores nas ruas e nos carros, câmera de vídeo, etc.) (GARELLI *et al.*, 2011). Entretanto, alguns métodos mais atuais tiram proveito do conceito de Redes Veiculares, a qual implementa uma infraestrutura que além de poder ser utilizada para a realização do monitoramento do trânsito, pode ser adaptada para aplicações que provém auxílio a segurança nas vias ou até mesmo para proporcionar entretenimento aos passageiros, como por exemplo, acesso a Internet durante uma viagem.

Dentro das propostas que utilizam Redes Veiculares, algumas abordam a arquitetura de comunicação V2I. Sendo uma delas o COTraMS (*Collaborative and Opportunistic Traffic Monitoring System*) (JUNIOR, 2013), que apresenta uma arquitetura centralizada e uma arquitetura descentralizada. Em ambas as arquiteturas é calculada a velocidade média das vias por meio de uma média harmônica. Na arquitetura centralizada do COTraMS, as condições de trânsito são disponibilizadas através de uma interface implementada por meio da API do Google Maps, ou utilizando uma tabela de texto para usuários que não possuem recursos gráficos.

O Google Maps (GOOGLE, 2009) (GOOGLE, 2014), utiliza a localização dos seus usuários, que concordam em disponibilizá-la por meio do GPS de seus *smartphones*. Essa localização é enviada pela Internet, geralmente via 3G. O Google Maps disponibiliza as condições de trânsito por meio da sua própria API. O Waze (WAZE, 2014) é uma aplicação de monitoramento de tráfego *online*, onde também é utilizado o GPS para a coleta de informações sobre a unidade de bordo. O Waze disponibiliza as informações de trânsito em uma rede social que é formada por usuários do aplicativo, onde nesta rede social consta a velocidade média das vias onde as informações foram coletadas.

O CoDeTMS utiliza uma arquitetura descentralizada, cuja vantagem está na facilidade e capacidade de acessar os dados sobre as vias em tempo real. Além disso, o usuário não fica dependente de acesso a Internet para participar da rede veicular e ter acesso às condições de trânsito, como é o caso do Google Maps e do Waze.

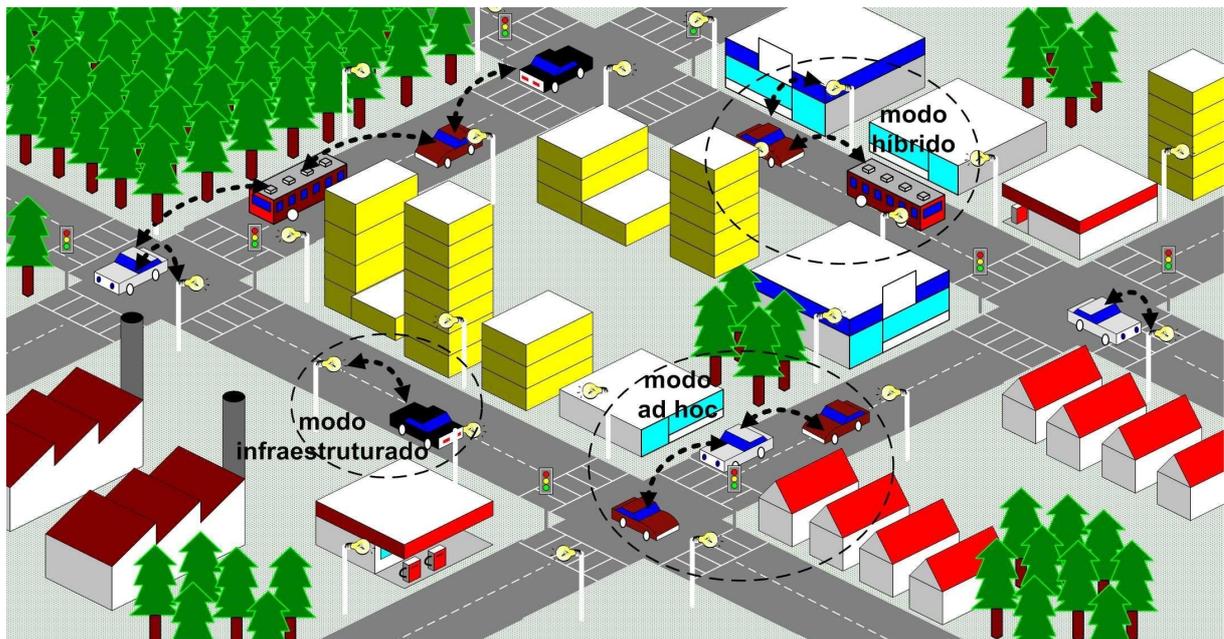
Há também trabalhos que utilizam a arquitetura de comunicação V2V, como por exemplo, o MobSampling (GARELLI *et al.*, 2011), que faz uma amostragem da densidade de uma região predefinida e sob demanda, a partir de uma requisição. Em contra partida, o CoDeTMS age de forma proativa e conhece toda a rede de ruas onde ele foi implementado. Outros sistemas operam de forma reativa para detectar congestionamentos de forma

inteligente, como é o exemplo do CoTEC (*Coperative Traffic congestion detECTION*) (BAUZA e GOZALVEZ, 2012). O CoTEC é capaz de prover parâmetros que definem as características do congestionamento (por ex. localização, tamanho e intensidade do congestionamento) para os gerenciadores de tráfego. Entretanto, o CoTEC age de forma a remediar congestionamentos no trânsito, enquanto que o CoDeTMS age oferecendo as condições das vias para os condutores dos veículos com o objetivo de prevenir a ocorrência de congestionamentos e diminuir os tempos de viagens.

3 REDES VEICULARES

Redes Veiculares são redes formadas pela comunicação entre veículos automotores e entre veículos e equipamentos geralmente fixados nas margens das estradas (ALVES *et al.*, 2009). As arquiteturas de Redes Veiculares definem a forma como a rede se organiza e como os nós se comunicam. Atualmente existem três tipos de arquiteturas principais: ad hoc puro (*Veicular Ad hoc NETWORK – VANET*), infraestruturada ou híbrida, representadas na Figura 1.

Figura 1 – Cenário e Arquiteturas de uma rede veicular



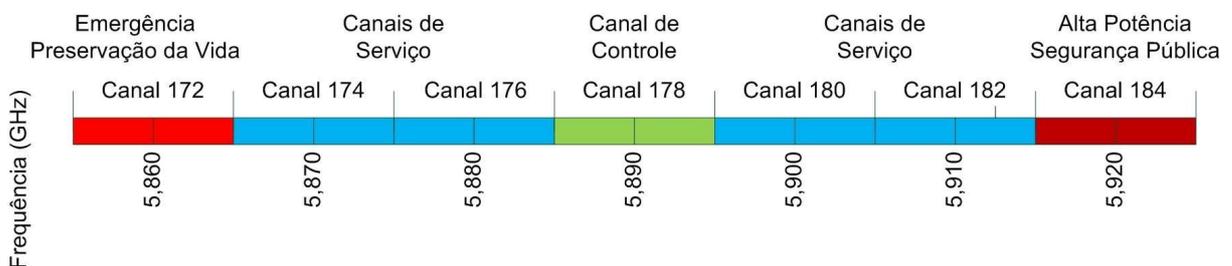
Fonte: (ALVES *et al.*, 2009)

Na arquitetura *ad hoc* as unidades de acostamento se comunicam apenas entre si sem nenhum auxílio de infraestrutura. A vantagem deste tipo de arquitetura é a facilidade de configuração da rede, a desvantagem é que a conectividade da rede fica dependente do número de veículos. Além disso, uma grande densidade de veículos pode sobrecarregar a rede. Já na arquitetura infraestruturada, são dispostas interfaces de rede estáticas onde as unidades de bordo podem se comunicar, ter acesso a serviços, ou até mesmo acessar a Internet. A arquitetura infraestruturada tem a vantagem de aumentar a conectividade da rede, sanando assim os problemas de conectividade característicos da arquitetura *ad hoc*, porém ela infere maior custo em sua implantação. Já a arquitetura híbrida busca agregar a arquitetura *ad hoc* e a arquitetura infraestruturada para prover uma rede mais dinâmica e inteligente (ALVES *et al.*, 2009).

3.1 Padrão para Redes Veiculares

Em 1999 começaram os primeiros esforços para a padronização de redes veiculares. Sendo eles, realizados nos Estados Unidos, onde a FCC (Federal Communications Commission) alocou 75 MHz do espectro de frequências, na faixa de 5,9 Ghz, para aplicações DSRC (Dedicated Short Range Communications). Como representado na Figura 2, a faixa DSRC é livre, porém licenciada, ela possui canais específicos para os tipos de aplicações e tecnologias utilizadas, não sendo cobrada taxa pelo seu uso (ALVES *et al.*, 2009).

Figura 2 – Faixa de frequência para aplicações DSRC

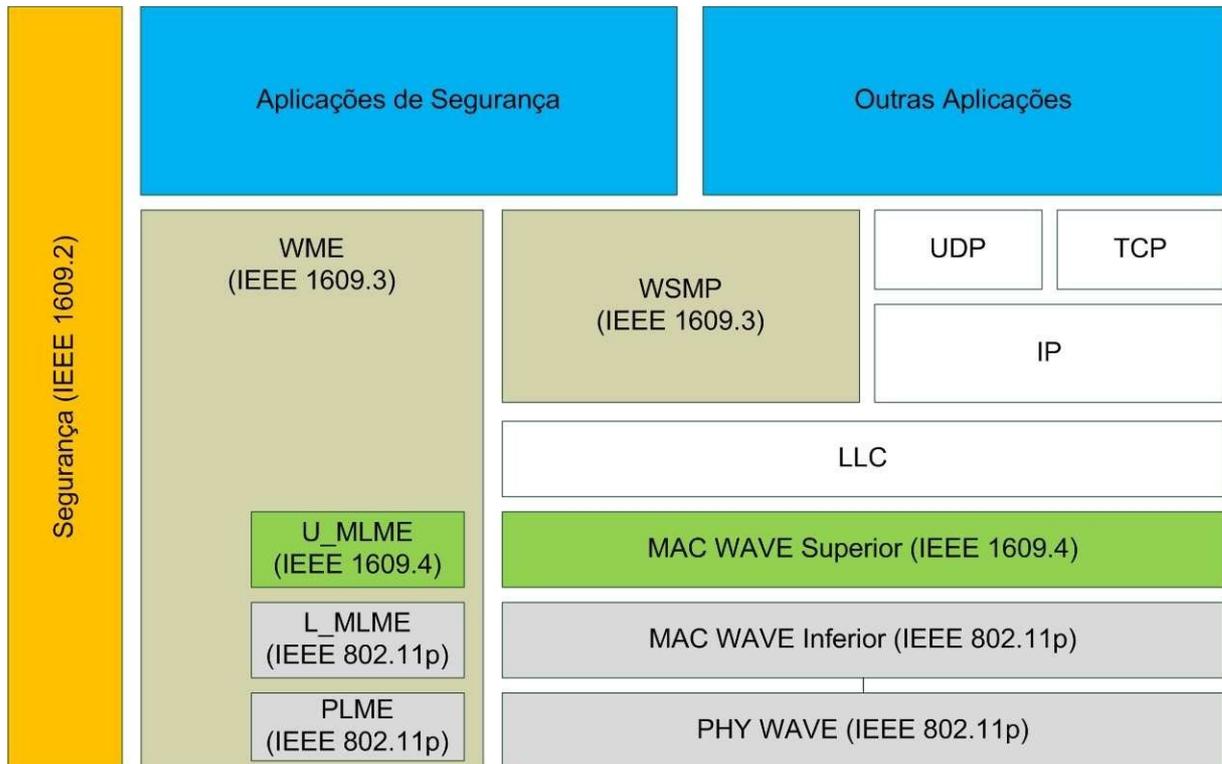


Fonte: (ALVES *et al.*, 2009).

Como pode ser visto na Figura 2, as aplicações DSRC operam em canais específicos, onde são separados quatro canais para serviço, um canal para mensagens de controle, um canal para Emergência e Preservação da Vida, e um canal de alta potência para segurança Pública.

Em 2004, iniciou-se a padronização das comunicações em redes veiculares por parte da IEEE dentro do grupo de trabalho IEEE 802.11. Esse padrão ficou conhecido como IEEE 802.11p WAVE. A arquitetura WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment) é definida em seis documentos: o (1) IEEE P1609.1, que especifica serviços e interfaces da aplicação de Gerenciamento de Recursos da arquitetura WAVE; o (2) IEEE P1609.2, é responsável por definir formatos e processamento seguros de mensagens; o (3) IEEE P1609.3, contém especificações das camadas de rede e de transporte, incluindo o endereçamento dos nós e o roteamento; o (4) IEEE P1609.4, define a operação de múltiplos canais na arquitetura WAVE, de acordo com as modificações necessárias no padrão IEEE 802.11; o (5) IEEE 802.11, define os padrões de acesso ao meio em um ambiente *wireless*; e o (6) IEEE 802.11p, que define as diferenças de acesso ao meio em relação ao padrão IEEE 802.11, para adaptar a comunicação em um ambiente WAVE (ALVES *et al.*, 2009). A Figura 3 mostra a pilha de protocolos WAVE e onde cada definição se enquadra.

Figura 3 – Cenário e Arquiteturas de uma rede veicular



Fonte: (ALVES *et al.*, 2009).

3.2 O protocolo WSMP

O protocolo WSMP (*WAVE Short Message Protocol*) (ALVES *et al.*, 2009), utilizado neste trabalho, se torna uma opção totalmente viável à utilização dos protocolos TCP/UDP e IPv6 em ambientes que utilizam a arquitetura de comunicação WAVE. Na Figura 3 é possível observar onde o WSMP se enquadra dentro da pilha WAVE, ocupando a camada de rede e de transporte.

O WSMP apresenta maior eficiência em ambientes veiculares, uma vez que ele oferece baixa latência e serviço não orientado a conexão. Além disso, as mensagens WSMP podem ser enviadas em qualquer um dos canais DSRC, fator este que não é possível pelo protocolo IP, que fica limitado apenas aos canais de serviço. O protocolo WSMP permite ainda que as aplicações controlem diretamente características da camada física, podendo especificar em que canal a mensagem será enviada e qual a potência de transmissão utilizada para o envio. O protocolo WSMP permite a possibilidade do uso de endereçamento por difusão, além de fornecer o endereço MAC (*Media Access Control*) do dispositivo.

A função de encaminhamento de mensagens do protocolo WSMP segue o roteiro a seguir. Quando uma aplicação realiza o pedido de envio de uma mensagem WSMP, o WSMP verifica se o tamanho do pacote corresponde ao tamanho especificado pela MIB

(*Management Information Base*). Em seguida a mensagem é repassada para a subcamada LLC (*Logic Link Control*). Já na parte do destino, ao receber uma resposta por parte da LLC, o WSMP repassa a mensagem para a aplicação de destino baseado no identificador do serviço PSID (*Provider Service Identifier*).

Neste trabalho é utilizado o padrão IEEE 802.11p/WAVE juntamente com o protocolo WSMP, uma vez que ambos são projetados para operar de forma eficiente em ambientes veiculares. Além disso, utilizar um padrão de comunicação IEEE 802.11 abre portas para novas aplicações em ambientes veiculares, não ficando restrito apenas às tarefas propostas neste trabalho.

3.3 Simuladores para Redes Veiculares

Pode-se caracterizar duas formas de se realizar testes em redes veiculares: (i) ambientes reais, com pessoas reais e veículos e interfaces de redes reais; e/ou (ii) por meio de simulação, onde se tem um ambiente totalmente controlado.

Utilizar ambientes reais para a realização de testes e experimentos em redes veiculares trás resultados mais precisos, porém tem-se a desvantagem dos custos elevados, bem como a necessidade de haver condições climáticas e ambientes favoráveis (ALVES *et al.*, 2009). Neste sentido o uso de simulação se torna a opção mais viável, uma vez que o ambiente de testes e experimento é totalmente controlado e o consumo de recursos é bem menor que a realização de testes em ambientes reais.

Algumas ferramentas atendem a demanda de simuladores para redes veiculares. Geralmente essas ferramentas são desenvolvidas com a agregação de um simulador de rede e um simulador de tráfego, responsável por simular a movimentação dos veículos.

3.3.1 Simuladores de tráfego

Os simuladores de tráfego possuem diferentes características e podem ser classificados como microscópicos ou macroscópicos (ALVES *et al.*, 2009). Um simulador de tráfego microscópico mantém configurações sobre o comportamento de cada veículo durante a simulação. Já o simulador de tráfego macroscópico, utiliza configurações gerais para o tráfego de veículos. Além disso, existem simuladores de tráfego centrados na rede e centrados na aplicação (ALVES *et al.*, 2009). Os simuladores de tráfego centrados na rede são os simuladores que enviam as informações de tráfego para o simulador de rede e não recebem

nenhum retorno. Já os simuladores centrados na aplicação recebem informações do módulo de rede, possibilitando a mudança de rota em tempo de simulação.

O SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) (SUMO, 2014) é um simulador de tráfego de código aberto bastante disseminado nos meios de pesquisas que envolvem redes veiculares. O SUMO é um simulador do tipo microscópico que simula a movimentação de diferentes tipos de veículos e suporta vias com múltiplas faixas. Além disso, o SUMO suporta controladores de tráfego dispostos nas vias, como por exemplo, semáforos.

3.3.2 Simuladores de rede

É importante avaliar a capacidade e eficiência de uma rede veicular para determinar se a rede é aplicável ou não. Para isso, existem simuladores de rede que possuem módulos capazes de simular redes sem fio. Dentre eles: ns-2 (AL-SULTAN *et al.*, 2013), ns-3 (AL-SULTAN *et al.*, 2013) e o OMNeT++ (OMNeT++, 2014).

O ns-2 é um simulador de eventos discretos orientado a objeto e de código aberto, projetado e voltado para pesquisas na área de redes de computadores. O ns-2 fornece suporte para simulação do protocolo TCP, protocolos de roteamento e protocolos de *multicast* que operam sobre redes com fio e redes sem fio. Uma simulação com o ns-2 é escrita utilizando a linguagem C++, bem como um *script* OTcL (*Object Tool Command Language*), o qual permite facilmente definir a topologia da rede.

O ns-3 é um simulador baseado em eventos discretos, que assim como o ns-2, é de código aberto, e aborda a simulação de sistemas de Internet. O ns-3 está disponível para pesquisadores e desenvolvedores. O ns-3 possui diferenças com relação ao ns-2, sendo desenvolvido para aprimorar a escalabilidade e modularidade. Além disso, o ns-3 tem suporte para a escrita de *scripts* em Python.

O OMNeT++ é um *framework* para a simulação de redes baseado em eventos discretos, modular e orientado à objeto. O OMNeT++ pode ser utilizado de forma genérica para: (i) modular uma rede de comunicação com fio e sem fio; (ii) modelagem de protocolos; (iii) modelagem de filas de rede; (iv) modelagem de sistemas de *hardware* distribuídos, como por exemplo, sistemas multiprocessadores. (v) validação de arquitetura de *hardware*, entre outros. O OMNeT++ fornece ferramentas e infraestrutura adequadas para escrita de simulações. O OMNeT++ possui módulos que são reutilizáveis, podendo ser combinados com outros módulos de várias maneiras. O OMNeT++ é livre apenas para uso acadêmico, já para uso comercial é necessário obter o OMNEST.

3.3.3 Simulação em Redes Veiculares

Como dito anteriormente, simulações em redes veiculares são construídas geralmente pela agregação de um simulador de tráfego e um simulador de rede. Alguns *frameworks* são desenvolvidos para oferecer suporte à simulação de um ambiente veicular. Dentre eles podemos citar o iTETRIS (ITETRIS, 2014), o Veins (VEINS, 2014) e o NCTUns (WANG e LIN, 2008). A Tabela 1 mostra algumas características desses simuladores.

Tabela 1 – Simuladores para Redes Veiculares

Simulador	Rede	Tráfego	Rede/Tráfego	IEEE 802.11p
Veins	OMNeT++	SUMO	Não	Sim
iTETRIS	Ns-3	SUMO	Não	Sim
NCTUns	Não	Não	Sim	Sim

De acordo com a Tabela 1, todos os simuladores oferecem suporte para o padrão IEEE 802.11p, porém o iTETRIS aborda uma adaptação europeia para o padrão IEEE 802.11p/WAVE, o ITS-G5A. O iTETRIS é formado pela agregação do simulador de rede ns-3 com o simulador de tráfego SUMO, e por um *middleware* chamado iCS (*iTETRIS Control System*), o qual é o módulo responsável por coordenar e sincronizar a simulação.

O NCTUns é um *software* de código aberto que executa sobre o sistema operacional Linux. O NCTUns fornece a implementação completa do padrão IEEE 802.11p/WAVE para a construção de simulações para ambientes veiculares e possui simulador de tráfego e rede integrados. O NCTUns opera sobre o *kernel* do Linux utilizando a pilha TCP/IP do próprio *kernel* para as simulações de rede. Além disso, o NCTUns permite a injeção de tráfego de aplicações reais em suas simulações, bem como é possível, realizar mudanças de comportamento no tráfego de veículos em tempo de simulação.

O Veins é um *framework* de código aberto projetado para a execução de simulações para redes veiculares constituído pelo simulador de rede OMNET++ e pelo simulador de tráfego SUMO. O Veins permite a reconfiguração das rotas dos veículos em tempo de execução baseado no conteúdo dos pacotes recebidos. Ele também oferece suporte ao padrão de comunicação IEEE 802.11p/WAVE, incluindo a operação de múltiplos canais, que é proporcionado pelo protocolo WSMP, QoS ao acesso dos canais, e a implementação dos efeitos de interferência e ruído. Além disso, o Veins pode ser configurado para ser executado em uma arquitetura de *cluster* para executar as simulações de maneira distribuída. O Veins

inclui um conjunto amplo de métricas de rede, bem como algumas métricas de tráfego, como por exemplo, o de tempo de viagem e emissões de CO² por parte dos veículos.

Neste trabalho será utilizado o Veins para realizar as simulações dos ambientes veiculares propostos neste trabalho, uma vez que ele oferece suporte completo ao padrão IEEE 802.11p/WAVE, reconfiguração das rotas dos veículos, um conjunto de métricas de desempenho de redes já implementadas e é composto pela integração do simulador de redes OMNeT++ e o simulador de tráfego SUMO, que já são bastante disseminados nos meios de pesquisa envolvendo redes veiculares. Além disso, foram realizados estudos para o entendimento aprofundado do seu funcionamento e de como as aplicações devem ser implementadas.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA: CoDeTMS

O CoDeTMS é composto por equipamentos a bordo dos veículos (unidades de bordo) e por equipamentos às margens das vias (unidades de acostamento), ambos portando uma interface de comunicação com o padrão IEEE 802.11p/WAVE. Além disso o CoDeTMS utiliza o protocolo WSMP para a realização do aviso do serviço e a coleta de dados sobre o trânsito.

Nas subseções seguintes são descritas as atividades relacionadas ao funcionamento das unidades de acostamento e as unidades de bordo no CoDeTMS.

4.1 Unidade de Acostamento

Uma unidade de acostamento dentro do CoDeTMS possui três funções principais: (i) estimar a velocidade média da via ou segmento em que ela se encontra; (ii) enviar a velocidade média obtida para as unidades de acostamento vizinhas; e (iii) armazena uma estrutura que contém as condições da via atual e das vias vizinhas que, por sua vez, fica disponível para as unidades de bordo.

As unidades de acostamento são fixadas nas vias de acordo com o seu comprimento. Por exemplo, no caso de vias extensas seria necessário mais de uma unidade de acostamento para separar a rodovia em segmentos, onde cada unidade de acostamento identificaria um segmento da via. As unidades de acostamento são endereçadas a partir do identificador da via. Caso haja a necessidade de mais de uma unidade de acostamento na via, elas serão identificadas agregando o identificador da via com o segmento em que a unidade de acostamento está localizada. Por exemplo, um segmento identificado como “Ax”, seria o identificador do segmento “x” na via “A”.

4.1.1 Estimativa da velocidade média da via/segmento

A estimativa da velocidade média da via ou segmento é obtida por meio de um modelo determinístico que relaciona a densidade de veículos da via com a sua velocidade. A vantagem de se utilizar um modelo determinístico está na sua simplicidade matemática e tratabilidade analítica (WANG *et al.*, 2009). A Tabela 2 mostra modelos determinísticos para se calcular a velocidade da via a partir de sua densidade.

O modelo de Greenberg é incapaz de prever a velocidade com densidades muito baixas, uma vez que a medida que a densidade se aproxima de zero, a velocidade tende a

crescer para o infinito. O modelo Underwood tenta sanar essa limitação do modelo de Greenberg, porém ele apresenta a desvantagem de que a velocidade só se torna zero se a densidade alcançar o infinito. Logo, o modelo Underwood não apresenta a possibilidade de uso para ambientes com altas densidades de veículos (WANG *et al.* , 2009). Diante dessas desvantagens os modelos derivados do modelo de Greenshields se tornam os mais viáveis, que no caso da Tabela 1, são os modelos de Drew e Pipes-Munjaj. Dentre eles, o modelo de Drew foi selecionado. Entretanto, como a estimativa da velocidade média da via no modelo de Drew convencional é obtida apenas com base na densidade de veículos na via, e o CoDeTMS deve obter as condições das vias em função do tempo, foi realizada uma adaptação do modelo de Drew. Este novo modelo, o qual é uma proposta deste trabalho, foi denominado Drew-B (Tabela 2).

Tabela 2 – Modelos Determinísticos

Modelo	Função	Parâmetros
Determinístico		
Greenshields	$V=v_f\left(1-\frac{k}{k_j}\right)$	v_f, k_j
Greenberg	$V=v_m \log \frac{k_j}{k}$	v_m, k_j
Underwood	$V=v_f e^{-\left(\frac{k}{k_0}\right)}$	v_f, k_0
Northwestern	$V=v_f e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_0}\right)^2}$	v_f, k_0
Drew	$V=v_f \left[1-\left(\frac{k}{k_j}\right)^{n+\frac{1}{2}}\right]$	v_f, k_j, n
Drew-B	$V(t)=v_f \left[1-\left(\frac{k}{k_j}\right)^{n+\frac{1}{2}}\right]$	v_f, k_j, n, t
Drake	$V=v_f e^{\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_j}\right)^2}$	v_f, k_j
Pipes-Munjaj	$V=v_f \left(1-\left(\frac{k}{k_j}\right)^n\right)$	v_f, k_j, n

Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2009).

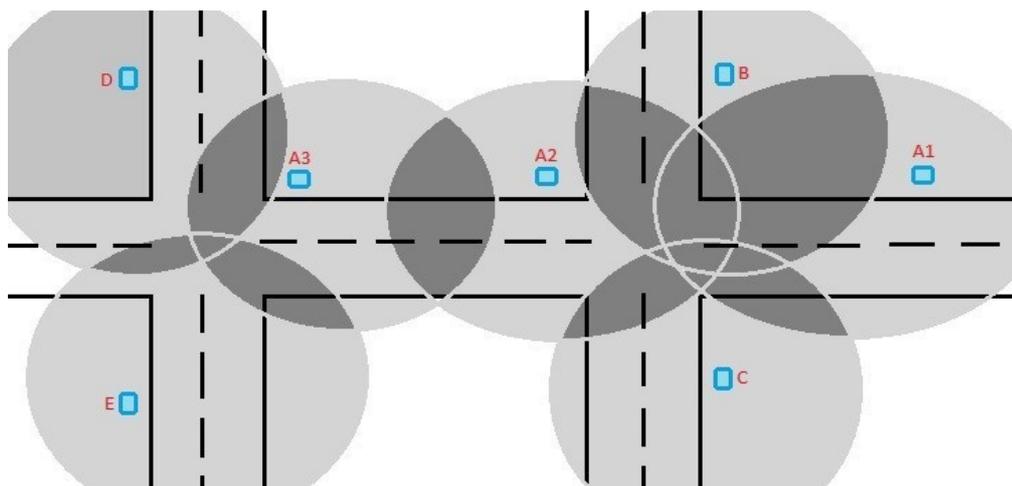
Os parâmetros utilizados pelo modelo de Drew-B para realizar a estimativa de velocidade da via são: v_f , fluxo livre de velocidade; k_j , densidade de congestionamento; k , densidade atual; e n , um número real onde $n > -1$, que quando $n=0.5$ a equação pode ser utilizada para produzir o modelo de Greenshields. O parâmetro k_j , pode ser utilizado com um valor entre 185-250 veh/mile (WANG *et al.* , 2009), já a variável k é o que queremos obter em função to tempo t .

4.1.2 Comunicação entre as unidades de acostamento

A comunicação entre as unidades de acostamento acontece forma proativa, ocorrendo a cada unidade de tempo t . Isto é, sempre que a unidade de acostamento estimar uma nova velocidade para via, ela propagará essa nova velocidade via *broadcast* para as unidades de acostamento vizinhas, que prontamente adicionarão às suas respectivas tabelas de condição das vias. A Figura 4 mostra a infraestrutura implementada pelas unidades de acostamento. As unidades de acostamento são representadas pela cor azul, e o cinza mais escuro caracteriza os vizinhos conhecidos pelas unidades de acostamento.

Com base na Figura 4, quando o nó A1 estima uma nova velocidade para a sua via, ele envia seu novo valor para as unidades de acostamento vizinhas, que neste caso são os nós A2, B e C. Seguindo a mesma lógica, A1 também é consciente das condições de trânsito do seguimento A2, e das vias B e C. O mesmo se aplica para todas as outras unidades de acostamento que implementam o CoDeTMS.

Figura 4 – Disposição das Unidades de Acostamento



4.1.3 Disponibilizar as condições das vias/segmentos

Para disponibilizar as condições das vias as unidades de acostamento mantém uma estrutura contendo os seguintes parâmetros: Via/Segmento e Velocidade. “Via/Segmento” é o identificador da via ou segmento, e “Velocidade”, é a velocidade da via na última unidade de tempo. Além disso, como mencionado anteriormente, essa tabela contém informações das vias e segmentos próximos. A Tabela 3 apresenta a organização da tabela de condição das vias armazenada pelas unidades de acostamento. Neste caso, a Via atual – 1, que indica a Via atual no segmento 1, apresenta velocidade de 40 km/h, o mesmo se aplica a Via atual – 2, porém nela é apresentado uma velocidade de 39 km/h. As vias próximas à Via atual apresentam velocidade de 70 km/h na Via X, 50 km/h na Via Y, e 35 km/h na Via Z.

Tabela 3 – Estrutura da tabela de condição das vias/segmentos

Via/Segmento	Velocidade
Via atual – 1	40 km/h
Via atual – 2	39 km/h
Via X	70 km/h
Via Y	50 km/h
Via Z	35 km/h

4.2 Unidade de Bordo

Uma unidade de bordo dentro do CoDeTMS possui duas funções principais: (i) cooperar com a contagem dos veículos na via e; (ii) realizar a requisição da tabela de condições das vias às unidades de acostamento.

A cooperação com a contagem dos veículos (ilustrada na figura 5) acontece no momento em que a unidade de bordo realiza a requisição pela tabela de condição das vias.

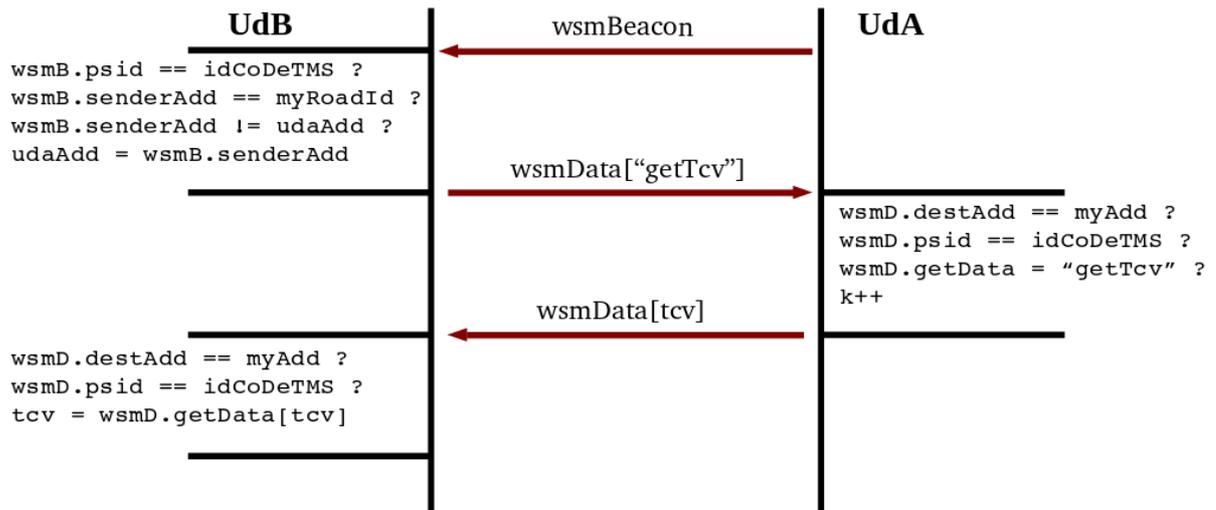
No CoDeTMS as unidades de acostamento disparam *beacons* de aviso que contém o identificador do CoDeTMS (PSID) para que a unidade de bordo seja ciente que a unidade de acostamento oferece tal serviço. Como ilustrado na Figura 5, quando uma unidade de bordo (UdB) captura um *beacon* enviado pela unidade de acostamento (UdA) ela inicia o processamento da mensagem, onde são verificadas as seguintes premissas:

- “O PSID contido no *beacon* de aviso corresponde ao identificador do serviço CoDeTMS?”: É verificado se a mensagem é um *beacon* de aviso do serviço oferecido pelo CoDeTMS.
- “O endereço da unidade de acostamento corresponde ao identificador da via em que a unidade de bordo se encontra?”: Essa verificação é realizada para prevenir que a unidade de bordo não realize requisições às unidades de acostamento que estão em vias próximas, uma vez que há a possibilidade da unidade de bordo entrar na área de cobertura de uma unidade de acostamento que identifica outra via.
- “O endereço da unidade de acostamento já é conhecido pela unidade de bordo?”: A unidade de bordo armazena o endereço da última unidade de acostamento cujo ela requisitou a tabela de condição das vias para prevenir que requisições sejam feitas repetidamente. Esse endereço é armazenado durante uma unidade de tempo definida na unidade de bordo, e ele pode ser (i) removido, quando a unidade de tempo definida para armazenar o endereço da unidade de acostamento acaba, ou (ii) atualizado,

quando a unidade bordo entra em outra via e realiza a requisição pela tabela de condição das vias enquanto a unidade de tempo ainda não se esgotou.

- Por último, caso a mensagem tenha passado por todas as etapas de processamento, o endereço da unidade de acostamento é armazenado na unidade de bordo, e a requisição pela tabela de condição das vias (TCV) é realizada.

Figura 5 – Contagem dos veículos e requisição da tabela de condição das vias



Quando uma requisição da tabela de condição das vias é recebida pela unidade de acostamento, esta, por sua vez, inicia o processamento da mensagem, verificando:

- “A mensagem foi enviada para o meu endereço?”: É verificado se o endereço de destino contido na mensagem corresponde ao endereço da unidade de acostamento em questão.
- “O PSID contido na mensagem corresponde ao identificador do serviço CoDeTMS?”: Mais de um serviço pode estar em funcionamento em uma unidade de acostamento, por isso, é verificado se o identificador armazenado dentro do PSID contido na mensagem corresponde ao identificador do CoDeTMS.
- “A mensagem é uma requisição pela tabela de condição das vias?”: É verificado se a mensagem recebida está requisitando a estrutura de condição das vias que a unidade de acostamento mantém.
- Por último, a unidade de acostamento conta um veículo em k , e envia a tabela de condição das vias para a unidade de bordo.

Quando a unidade de bordo recebe a mensagem contendo a tabela de condição das vias, ela realiza o processamento da mensagem verificando:

- “O endereço de destino contido na mensagem corresponde ao meu endereço?”: É verificado se a mensagem foi encaminhada para a unidade de acostamento em questão.
- “O PSID contido na mensagem corresponde ao identificador do serviço oferecido pelo CoDeTMS?”: Mais de um serviço pode estar em funcionamento em uma unidade de bordo, por isso, é verificado se o identificador armazenado dentro do PSID contido na mensagem corresponde ao identificador do CoDeTMS.
- Por último, se o processamento da mensagem passou por todas as etapas, a unidade de acostamento armazena a tabela de condição das vias recebida na mensagem.

No fim da troca de mensagens entre a unidade de bordo e a unidade de acostamento é possível observar que a unidade de bordo realiza as suas duas funções principais. Assim, a cooperação com a contagem dos veículos é feita no mesmo momento em que a requisição pela tabela de condição das vias acontece.

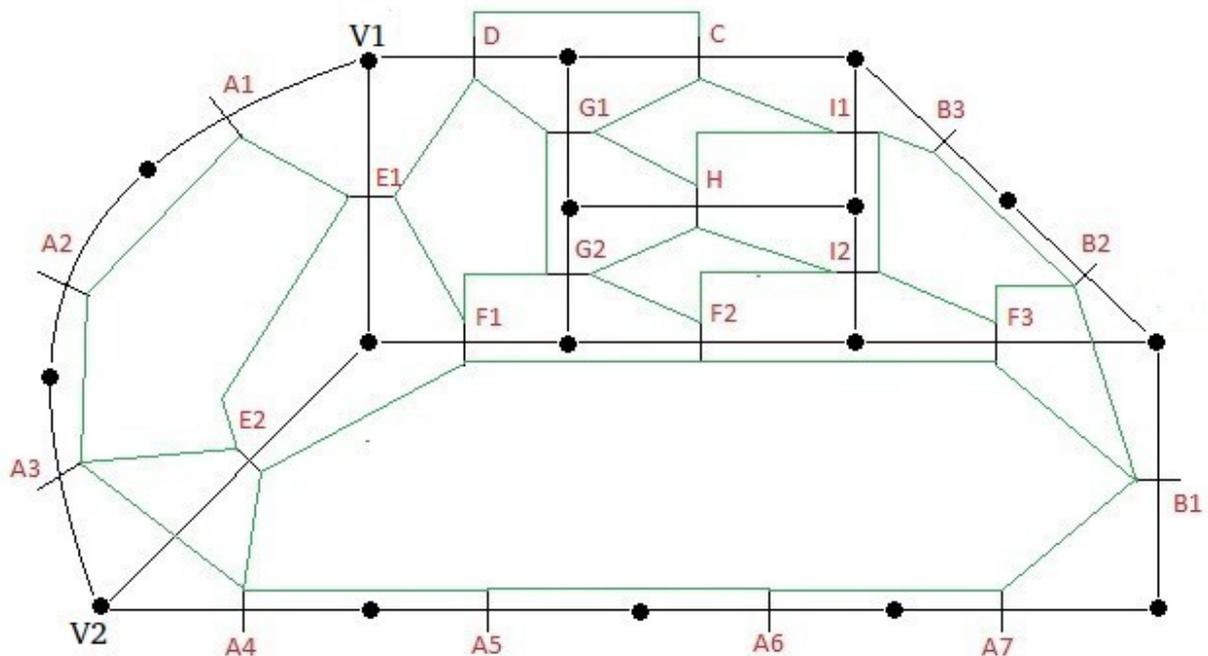
5 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

5.1 Estimativa e Divulgação das condições de trânsito

Para compreender o funcionamento do CoDeTMS, foi realizado um estudo de caso em formato de simulação dentro de uma rede de ruas, a qual pode ser definida como um conjunto de ruas de uma cidade ou bairro interligadas. Entretanto, neste contexto, a rede de ruas foi projetada manualmente, como um grafo, para o melhor entendimento do CoDeTMS. Neste estudo de caso são apresentados a estimativa da velocidade média das vias por parte das unidades de acostamento, a disponibilidade das condições das vias, e a comunicação entre as unidades de acostamento. Porém não é tido nenhuma implementação da rede veicular e é assumido que a contagem de veículos para medir a densidade das vias já foi realizada.

A rede de ruas projetada é ilustrada na Figura 6, cujas arestas podem ser caracterizadas como as vias ou segmentos, os vértices como as esquinas ou a separação dos segmentos de uma via, os traços que cortam as arestas como as unidades de acostamento, e as linhas verdes representam os vizinhos conhecidos pelas unidades de acostamento, por exemplo, os vizinhos de A1 são A2 e E1.

Figura 6 – Rede de Ruas



Uma vez que a estimativa da velocidade da via é com base no tempo, é levado em conta todas as unidades de bordo que passaram pela unidade de acostamento e foram somados durante a unidade de tempo determinada. Tomando como exemplo a Figura 6, para determinar a velocidade do segmento A1, e tomando como exemplo a Tabela 4, deve-se definir os parâmetros para o modelo de Drew-B.

Aplicando os valores contidos na Tabela 4, a equação se caracteriza como mostrado em (1), onde o resultado da equação é multiplicado por 1609,344 e dividido por 1000 para obter a velocidade da via em quilômetros por hora (km/h), uma vez que a equação emite um valor medido em milhas por hora (mph). Logo o valor será 15,81 km/h de velocidade na via na última unidade de tempo.

$$V(t) = \frac{(62(1 - (\frac{150}{200})^{0.1 + \frac{1}{2}})) * 1609,344}{1000} \quad (1)$$

Tabela 4 – Parâmetros Definidos e Resultados

Unidades de acostamento	v_f mph	k_j	n	k	v km/h
A1,A2,A3	62	200	0.1	150	15,81
A4,A5	62	200	0.1	120	26,33
A6,A7	62	200	0.1	100	33,9
B1,B2,B3,I1,I2,F3	40	185	0.1	50	35
F1,F2	40	185	0.1	100	19,86
E1,E2	40	200	0.1	105	20,64
G1,G2,H,C,D	40	185	0.1	120	14,7

Com a velocidade da via obtida pela unidade de acostamento, o próximo passo é propagar este resultado para as unidades de acostamento vizinhas. Sabendo que a propagação da condição da via para as outras unidades de acostamento ocorre de forma proativa, e tomando como exemplo o nó A1 da Figura 6, A1 irá propagar sua velocidade para o nó E1 e A2 que, por sua vez, irão adicionar esse valor a sua tabela de condições das vias. No mesmo sentido, A1 recebe os valores dos nós E1 e A2, que baseado nos valores da Tabela 4 cria a sua tabela de condição das vias, como mostrado na Tabela 5.

Todas as unidades de acostamento na rede veicular geram tabelas como mostrado na Tabela 5. Uma vez que o condutor do veículo consegue ter acesso a estas informações, ele pode tomar decisões mais inteligentes em relação a rota que ele deve ou não seguir.

Baseado na Figura 6, vamos tomar como exemplo uma unidade de bordo vindo no sentido D → V1 que obteve e está de posse da tabela de condição das vias fornecida pela unidade de acostamento D (Tabela 6), e deseja ir para o vértice V2. Deve-se supor que o fluxo das vias A e E são no mesmo sentido, onde o sentido da via A será A1 → A2 → A3... A7, e o

sentido do fluxo de E é $E1 \rightarrow E2$. Tendo isso em mente, e de posse da tabela de condição das vias de D, a decisão lógica a se tomar seria pelo segmento E1, uma vez que ele oferece maior mobilidade e vai em direção ao vértice V2. Seguindo para o vértice V2 pelo segmento E1, a unidade de bordo realiza uma requisição à unidade de acostamento E1 e obtém a tabela de condição das vias e seguimentos próximos de E1, que mostram as condições de A1, D, F e E2 (Tabela 7).

Tabela 5 – Tabela de A1

Rua/Segmento	Velocidade
A1	15,81 km/h
A2	15,81 km/h
E1	20,64 km/h

Tabela 6: Tabela de D

Rua/Segmento	Velocidade
D	14,7 km/h
C	14,7 km/h
G1	14,7 km/h
E1	20,64 km/h

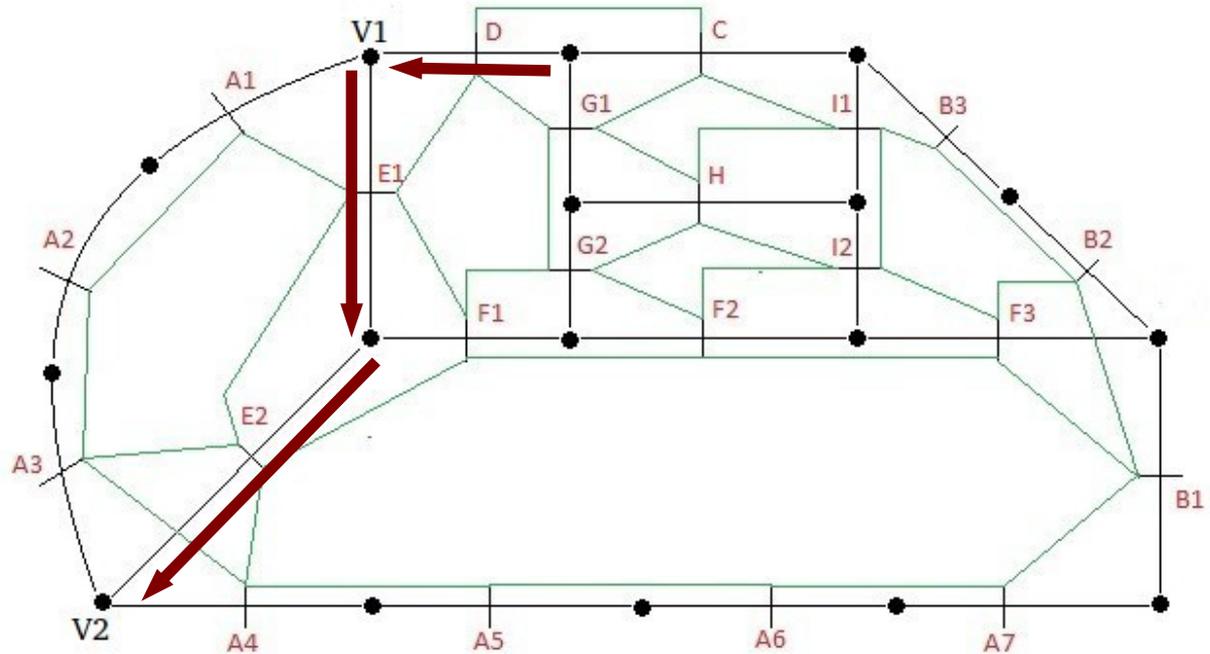
Tabela 7: Tabela de E1

Rua/Segmento	Velocidade
E1	20,64 km/h
E2	20,64 km/h
A1	15,81 km/h
D	14,7 km/h
F1	19,86 km/h

Uma vez de posse da tabela de E1, e sabendo que E2 leva ao vértice V2, e além disso, sabendo que o segmento E2 oferece maior mobilidade dentre as vias/segmentos próximas do segmento E1, fica fácil para o condutor do veículo tomar a decisão de por onde seguir. O condutor então segue seu caminho para o vértice V2 através do segmento E2, alcançando o seu destino da forma mais otimizada possível por meio das informações disponibilizadas nas

tabelas de condição das vias, onde o caminho seguido foi $D \rightarrow V1 \rightarrow E1 \rightarrow E2 \rightarrow V2$, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Rota realizada pela Unidade de Bordo



5.2 Avaliação da Rede

Nota-se que é de grande importância que a informação contida em pacotes de dados seja entregue com a mínima taxa de erros possível para as unidades de bordo e acostamento para que o CoDeTMS possa realizar suas tarefas satisfatoriamente. Neste contexto, pode-se identificar dois tipos de mensagens onde são utilizados pacotes de dados: (i) mensagens de requisição ou que contenham uma tabela de condição das vias; e (ii) mensagens contendo a condição da via da unidade de acostamento remetente que são propagadas a partir de uma unidade de acostamento para as unidades de acostamento vizinhas.

O CoDeTMS foi implementado como módulo de aplicação no Veins. Os resultados focados na análise da rede são mostradas nas subseções seguintes.

5.2.1 Caracterização do tráfego de dados na comunicação V2I

A primeira avaliação tem como objetivo caracterizar o tráfego de dados na comunicação V2I, ou seja, o momento da requisição pela tabela de condição das vias. Em tal contexto, foram realizadas simulações em dois cenários de mobilidade:

- Cenário 1: as unidades de bordo se movimentam de forma contínua de uma origem para um destino passando pela unidade de acostamento;
- Cenário 2: as unidades de bordo se movimentam de forma contínua de uma origem até um destino. No entanto há pequenas pausas no tráfego de veículos próximo a unidade de acostamento.

Os experimentos foram realizados com diferentes níveis de unidades de bordo, cujas quantidades são: (i) 25 unidades de bordo e 1 unidade de acostamento; (ii) 50 unidades de bordo e 1 unidade de acostamento; (iii) 100 unidades de bordo e 1 unidade de acostamento; e (iv) 200 unidades de bordo e 1 unidade de acostamento. Em todos os casos foram simulados os cenários 1 e 2.

A troca de mensagens no CoDeTMS ocorre por meio do protocolo WSMP, utilizando mensagens de *broadcast*. A troca de mensagem em um ambiente CoDeTMS segue o seguinte roteiro:

1. A unidade de acostamento envia *beacons*, que são mensagens periódicas de aviso do serviço do CoDeTMS;
2. A unidade de bordo (somente se a unidade de acostamento não é conhecida pela unidade de bordo) captura os *beacons* e realiza a requisição da tabela de condição das vias e;
3. A unidade de acostamento responde a requisição pela tabela de condição das vias realizada pela unidade de bordo.

Deve-se ressaltar que a unidade de bordo guarda o identificador da unidade de acostamento durante uma unidade de tempo. No caso desses experimentos, a unidade de tempo foi configurada para 5 segundos.

A Figura 8 mostra o gráfico que representa a perda de pacotes na unidade de acostamento no momento da recepção da requisição pela tabela de condição das vias nos Cenários 1 e 2. O cenário 2 apresenta em quase todos os casos maior taxa de perda de pacotes, com exceção do cenário com 25 unidades de bordo, que apresenta a mesma taxa de perda de pacotes para os Cenários 1 e 2. A maior taxa de perdas de pacotes para o Cenário 2 já era esperada, uma vez que a mobilidade nesse cenário é irregular em comparação ao Cenário 1. Essa irregularidade pode levar à trocas de mensagens entre as unidades de bordo e unidade de acostamento não tão previsíveis quanto no Cenário 1.

A Figura 9 mostra as requisições recebidas pela unidade de acostamento, e as requisições que foram respondidas pela unidade de acostamento. Na Figura 9, o parâmetro “Cenário 1 Req”, corresponde as requisições recebidas pelas unidade de acostamento no

Cenário 1, enquanto que o parâmetro “Cenário 1 Resp”, corresponde às requisições que foram atendidas pela unidade de acostamento no Cenário 1. O mesmo se aplica para “Cenário 2 Req” e “Cenário 2 Resp”, porém no Cenário 2.

Figura 8 – Perda de Pacotes na Unidade de Acostamento nos Cenários 1 e 2

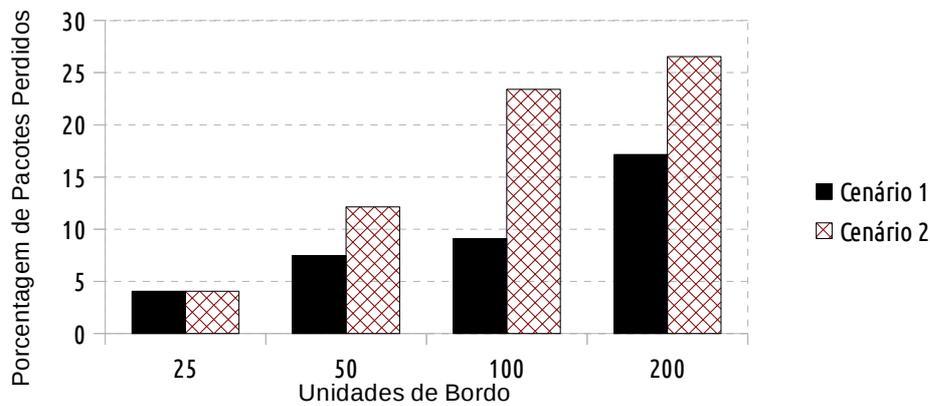
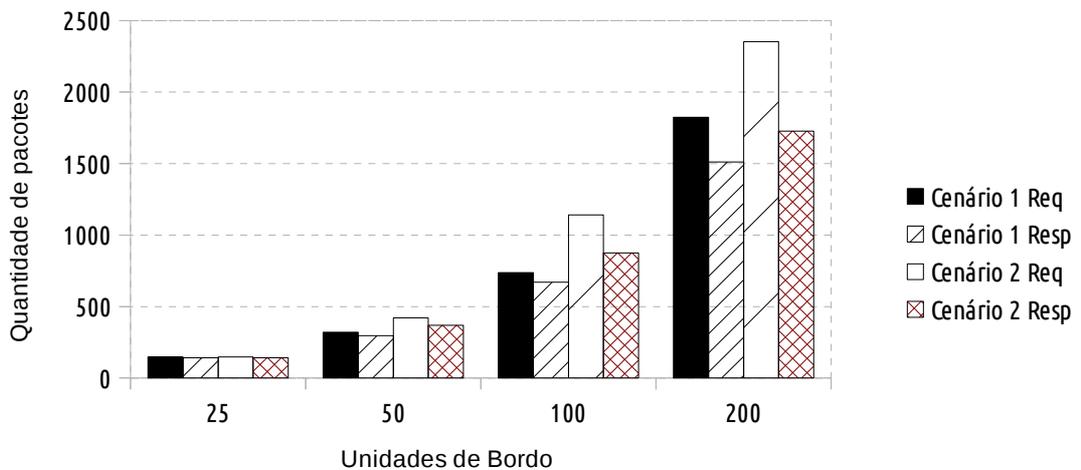


Figura 9 – Requisições e Respostas



A troca de mensagens realizada entre a unidade de acostamento e as unidades de bordo é variada para os dois cenários. No Cenário 1 houve menos tráfego de pacotes em quase todos os cenários envolvendo os diferentes níveis de unidades de bordo, com exceção do nível de 25 unidades de bordo, que impôs o mesmo comportamento para ambos os cenários. Porém, deve-se observar que a perda de pacotes para o Cenário 2 com 50 unidades de bordo foi superior a perda de pacotes no Cenário 1 com 100 unidades de bordo, o qual teve maior fluxo de mensagens na unidade de acostamento. O mesmo acontece para o Cenário 2 com 100 unidades de bordo e com o Cenário 1 com 200 unidades de bordo.

Para entender melhor o fator de perda de pacotes, é verificado a perda de pacotes em função das requisições recebidas e com base no tempo (Figuras 10 e 11). Nos experimentos

foi definido a unidade de tempo de 10 segundos para verificar a perda de pacotes e o número de requisições dentro desse tempo. A Figura 10 mostra o Cenário 1 com 200 unidades de bordo e a Figura 11 mostra o Cenário 2 com 200. Observando as Figura 10 e 11 é possível observar que a forma como o tráfego de veículos se organiza na via influencia diretamente no desempenho da rede. Na Figura 11 as requisições pelas tabelas de condições das vias se apresentam de forma irregular, e nesse contexto de tráfego a perda de pacotes se mostra muito superior a um contexto onde o tráfego de veículos é contínuo e sem pausas.

Figura 10 – Perda de Pacotes/Requisições Cenário 1

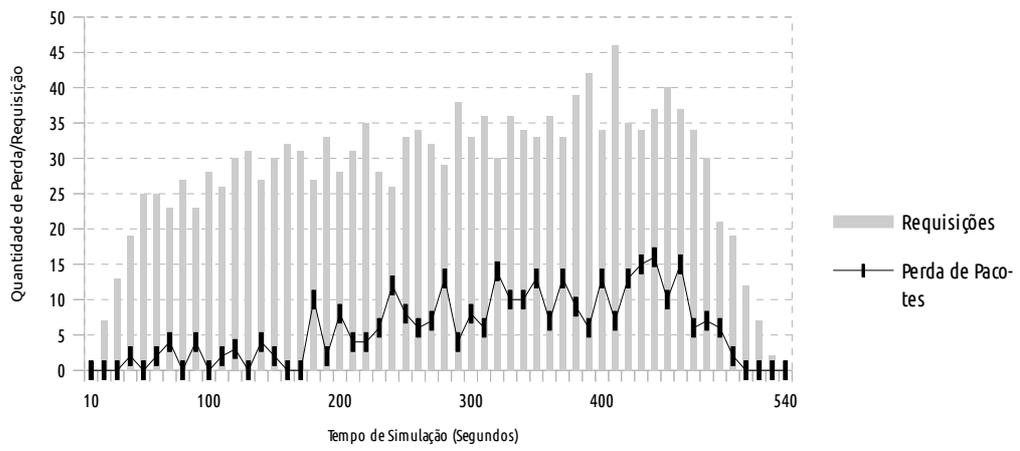
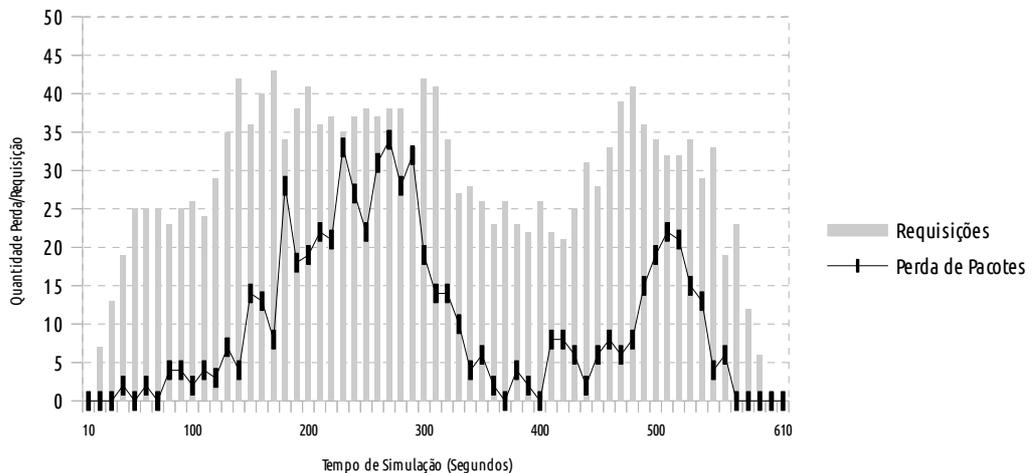


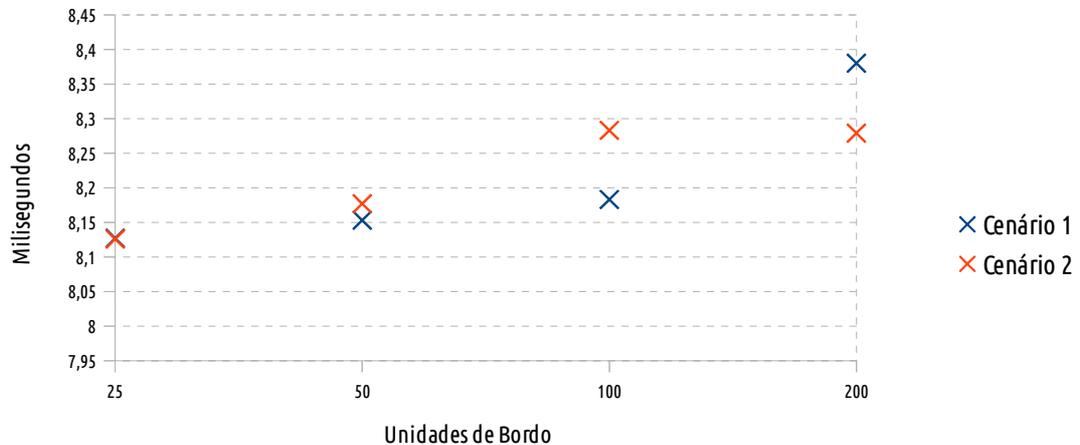
Figura 11 – Perda de Pacotes/Requisições Cenário 2



O tempo de resposta às requisições também é verificado para os Cenários 1 e 2 em todos os níveis de unidades de bordo. A Figura 12 mostra que o tempo médio para obtenção da tabela de condição das vias variou de 8,13 a 8,38 milissegundos em todos os cenários. O tempo de resposta no Cenário 2 se mostrou superior nos cenários com 50 e 100 unidades de bordo, igual no cenário com 25 unidades de bordo, e inferior no cenário com 200 unidades de bordo. No caso do Cenário 2 com 200 unidades de bordo, a alta taxa de perda de pacotes pode

ter influenciado no tempo de resposta, uma vez que as requisições que não foram atendidas poderiam ser as requisições que demandariam maior tempo para serem atendidas.

Figura 12 – Tempo para obtenção da tabela de condição das vias no CoDeTMS



5.2.2 Estimativa e propagação da condição da via

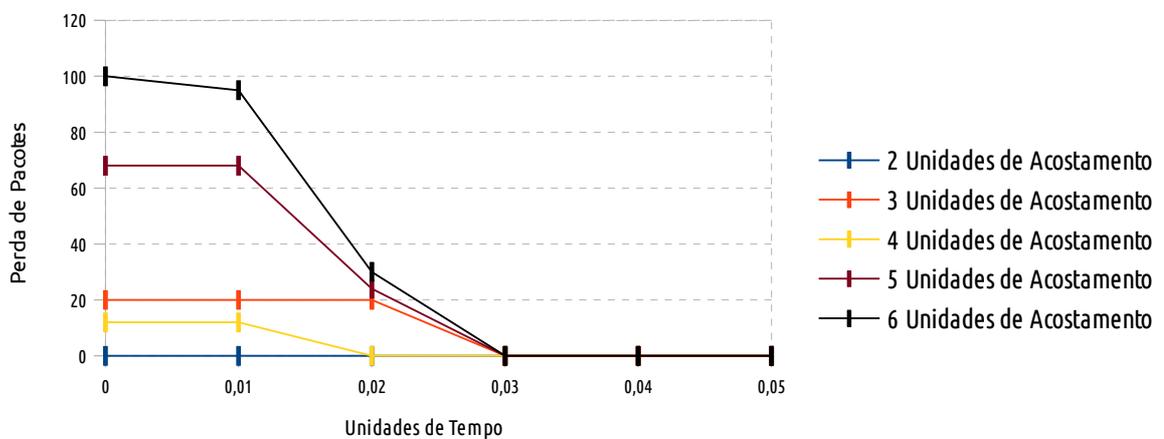
Garantir que a condição da via de uma unidade de acostamento seja entregue com sucesso para as unidades de acostamento vizinhas é crucial para a divulgação das condições das vias, uma vez que essas mensagens constroem as tabelas de condições das vias que são requisitadas pelas unidades de bordo. Neste contexto, foram conduzidos experimentos para definir a sobreposição de tempo mínimo em que as unidades de acostamento devem estimar e propagar a condição da via para as outras unidades de acostamento vizinhas sem a ocorrência de perda de pacotes. Os intervalos de tempo utilizados foram 0 segundos, 0,01 segundos, 0,02 segundos, 0,03 segundo, 0,04 segundos e 0,05 segundos. Por exemplo, no caso do intervalo de 0,01 segundos, a unidade de acostamento A irá estimar e propagar a condição da sua via para as unidades de acostamento vizinhas no tempo 0,01, enquanto que a unidade de acostamento B irá realizar o mesmo procedimento no tempo $0,01+0,01$. Além disso, foi definido o fator com relação quantidade de unidades de acostamento que são vizinhas umas das outras. Esse fator foi definido nos níveis de 2, 3, 4, 5, e 6 unidades de acostamento para cada experimento. Portanto, é observável 30 cenários diferentes, representados na Tabela 8.

Os resultados são retratados na Figura 13, a qual é possível observar a unidade de tempo de 0,03 segundos como o tempo mínimo de sobreposição de tempo para a estimativa e propagação da condição da via com taxa de perda de pacotes igual à 0 para todos os níveis de unidades de acostamento utilizadas neste experimento.

Tabela 8 – Cenários utilizados na simulação de sobreposição de tempo mínimo

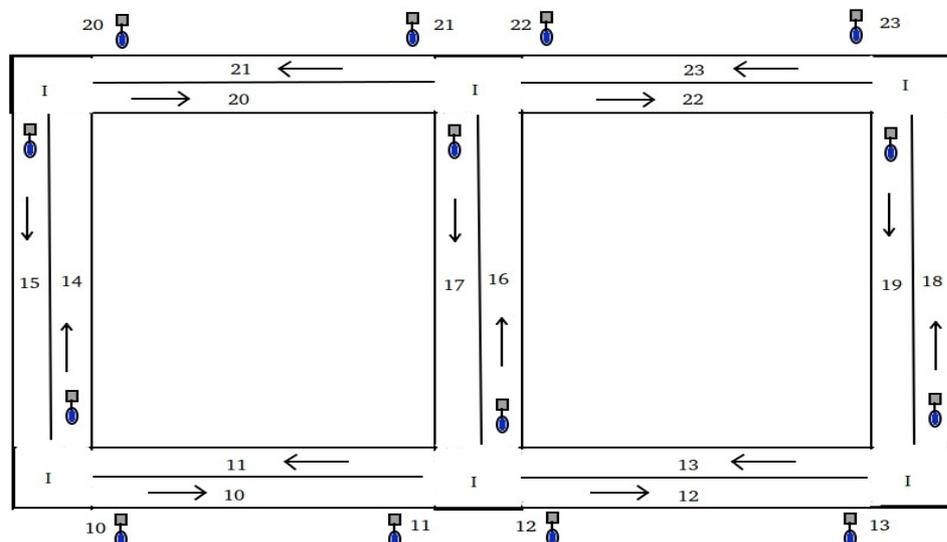
Unidades de Acostamento	0,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X

Figura 13 – Sobreposição de tempo mínima para a estimativa e propagação da condição da via



Para verificar os resultados apresentados na Figura 13, foi utilizado o Cenário B, ilustrado na Figura 14, para analisar a propagação das condições das vias entre as unidades de acostamento. As unidades de tempo abordadas neste experimento iniciam a partir de 0,03 segundos, que foi a sobreposição de tempo mínima que apresentou uma taxa de perda de pacotes igual à 0 (Figura 13), seguindo de 0,04 segundos e 0,05 segundos.

Figura 14 – Cenário B



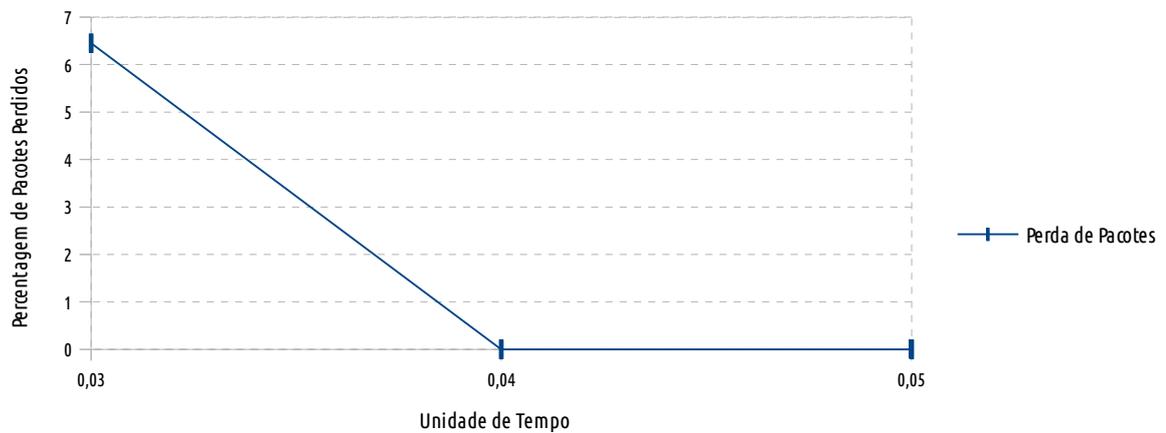
No Cenário B, as unidades de acostamento, representadas pelas circunferências azuis ligados a um quadrado cinza, são endereçadas a partir do identificador da via ou segmento cujo ela é responsável. As setas representam o fluxo das vias, e os números nas vias caracterizam o seu identificador. Os vizinhos de cada unidade de acostamento são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Vizinhos no Cenário B

Unidade de Acostamento	Vizinhos
10	11,14,15,16
11	10,12,14,16,17
12	11,13,16,17,18
13	12,16,18,19
14	10,11,15,20
15	10,14,20,21
16	10,11,12,13,17,21,22
17	11,12,16,20,21,22,23
18	12,13,19,23
19	13,18,22,23
20	14,15,17,21
21	15,16,17,20,22
22	16,17,19,21,23
23	17,18,19,22

Os resultados dos experimentos podem ser vistos no gráfico expresso na Figura 15. A unidade de tempo 0,03 que no experimento anterior tinha apresentado taxa de perda de pacotes igual à 0 para até 6 unidades de acostamento, cada uma com 5 vizinhos, no cenário B apresentou taxa de perda de 6,45%. Porém, deve-se ressaltar que a perda de pacotes só ocorreu nas unidades de acostamento 12 e 23, e foi distribuída igualmente entre elas, ou seja, 22 pacotes perdidos para cada unidade de acostamento. Entretanto, a quantidade de pacotes recebidos pelas unidades de acostamento foi diferente, uma vez que as duas possuem quantidades de vizinhos diferentes. No caso da unidade de acostamento 12 foram recebidos 33 mensagens de *broadcast* de anúncio das condições das vias das unidades de acostamento vizinhas, enquanto que a unidade de acostamento 23, recebeu 22 mensagens, significando uma perda de 100% dos pacotes. Entretanto, essa perda de pacotes é sanada com o aumento na diferença de estimativa e envio da condição da via para 0,04 segundos, proporcionando uma taxa de perda de pacotes de 0% para todas as unidades de acostamento.

Figura 15 – Perda de Pacotes no Cenário B



É perceptível as limitações do CoDeTMS pelo fato de ser utilizado um protocolo que oferece serviço não orientado a conexão para prover a comunicação. Porém, essas limitações podem ser diminuídas abordando a melhor forma de configurar a rede. É possível notar que quando as unidades de bordo são configuradas para liberar o endereço da unidade de acostamento da memória em 5 segundos (seção 5.2.1), acarretará em uma rede pouco eficiente para altas cargas de tráfego de veículos, uma vez que será realizada uma requisição pela tabela de condição das vias a cada 5 segundos por cada unidade de bordo na via. Neste contexto as unidades de bordo podem ser configuradas para liberarem o endereço da unidade de acostamento em unidades de tempo maiores. Além disso, é muito importante definir uma sobreposição de tempo entre cada estimativa e envio das condições das vias para cada unidade de acostamento para prover uma comunicação sem erros. Entretanto, como mostrado nas Figuras 13 e 14, essa sobreposição mínima de tempo vai depender muito do cenário em que o CoDeTMS é implementado.

Como opção ao protocolo WSMP, pode-se utilizar um protocolo orientado a conexão, como o protocolo TCP sobre o IPv6, uma vez que é suportado pelo padrão IEEE 802.11p. Essa opção se torna viável uma vez que o padrão IEEE 802.11p simplifica a entrada de um nó em um BSS (*Basic Service Set*) (ALVES *et al.*, 2009). Os processos de autenticação e associação em BSS realizados pelo padrão IEEE 802.11 comum foram eliminados no IEEE 802.11p, o que acabou reduzindo o processo de associação, deixando a implementação de mecanismos de segurança para camadas superiores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o CoDeTMS, um sistema para redes veiculares, que aborda o uso do protocolo WSMP para realização da coleta, agregação e disponibilização dos dados relacionados às condições das vias. As condições das vias são estimadas com base na velocidade média obtida a partir de um modelo determinístico baseado no tempo, denominado Drew-B, que foi proposto por esse trabalho. O bom funcionamento do CoDeTMS implica na entrega das tabelas de condições das vias de forma bem sucedida. Entretanto, o protocolo WSMP oferece serviço não orientado à conexão, podendo haver perda de pacotes e consequentemente o não acesso às condições das vias por parte das unidades de bordo. Os experimentos foram focados na análise da rede para determinar como o CoDeTMS deve ser configurado para prover mais eficiência no seu serviço.

6.1 Contribuições

Como contribuições deste trabalho, podemos citar:

- A utilização de uma arquitetura de redes descentralizada para a realização do monitoramento do trânsito:
 - Disponibilização das condições das vias em tempo real;
 - Não há a necessidade de acesso à Internet para participar da rede veicular.
- Desenvolvimento do CoDeTMS, um sistema cooperativo que realiza o monitoramento do trânsito e disponibiliza essas informações para as unidades de bordo dentro da rede veicular:
 - Não há a necessidade de interferência humana para que o sistema obtenha as condições de trânsito e disponibilize essas informações.
- Desenvolvimento de um modelo determinístico, denominado Drew-B, que estima a velocidade média da via a partir da densidade de veículos em função do tempo. O Drew-B é uma adaptação do modelo de Drew, que estima a velocidade da via apenas com base na densidade de veículos.

6.2 Trabalhos Futuros

Dentre os trabalhos futuros, pode-se citar:

- A implementação de um sistema na unidade de bordo que ao receber uma tabela de condições das vias, disponibilize essas informações para o condutor do veículo;

- O desenvolvimento de um método para definir a rota de menor custo de uma origem até um destino a partir de uma requisição de uma unidade de bordo, levando em consideração as informações contidas nas tabelas de condições das vias disponibilizadas pelas unidades de acostamento e;
- A implementação do CoDeTMS utilizando um serviço orientado à conexão, bem como a comparação com o estado atual da arte do CoDeTMS.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. S. A.; CAMPBELL, I. V.; COUTO, R. S.; CAMPISTA, M. E. M.; MORAES, I. M.; RUBINSTEIN, M. G.; COSTA, L. H. M. K.; DUARTE, O. C. M. B.; ABDALLA, M. Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios. In: **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores – SBRC**. 2009. p. 199- 254.

AL-SULTAN, S.; AL-DOORI M. M.; AL-BAYATII H. A.; ZEDAN H. A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. **Journal of network and computer applications**. 2013.

BAUZA R.; GOZALVEZ J. 2012. Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications. In: **Journal of Network and Computer Applications**. 2012. p. 1295-1307.

CET. 2014. **Companhia de Engenharia de Tráfego**. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br>>. Acesso em: 15 de maio de 2014.

CINTRA, M. A crise do trânsito em São Paulo e seus custos. In: **Revista de Administração de Empresas – RAE**. 2013. p. 58-61.

FROTA. 2013. **Departamento Nacional de Trânsito – Denatran**. Disponível em: <www.denatran.gov.br>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

GARELLI, L.; CASETTI, C.; CHIASSERINI, C.; FIORE, M. Mobsampling: v2v Communications for Traffic Density Estimation. In: **IEEE Vehicular Technology Conference (VTC – Spring)**. 2011. p. 1-5.

GOOGLE. 2009. **The Bright Side of Sitting in Traffic: Crowdsourcing Road Congestion Data**. Disponível em: <<http://googleblog.blogspot.com/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2014.

GOOGLE. 2014. **Google Maps**. Disponível em: <<https://support.google.com/maps>>. Acesso em: 15 de maio 2014.

INEA. 2011. **Relatório da Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro – Ano base 2010 e 2011**. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/bmvh/mdey/~edisp/inea012571.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2014.

ITETRIS. 2014. **iTETRIS Platform Simulation**. Disponível em: <<http://www.ict-itetris.eu>>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

JÚNIOR, J. G. R.; Quintanilha, I. M.; Campista, M. E. M.; Costa, L. H. M. K. Sistema para Monitoramento Descentralizado de Trânsito baseado em Redes Veiculares Infraestruturadas. In: **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. 2013. p. 863-876.

JÚNIOR, J. G. R. **Sistema oportunístico e colaborativo para o monitoramento de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas**. 2013. 114 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro. 2013.

OMNET++. 2014. **Network Simulation Framework**. Disponível em:<<http://www.omnetpp.org/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

WANG, H.; LI, J.; CHEN, Q. Y.; NI, D. Speed-density relationship: from deterministic to stochastic. In: **Trb 88 th Annual Meeting at Washington**. 2009. p. 1-20.

WANG, S; LIN, C.; NCTUns 5.0: A Network Simulator for IEEE 802.11 (p) and 1609 Wireless Vehicular Network Researchers. In: **IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)**. 2008. p 1-2.

WAZE. 2014. **Waze**. Disponível em:<<https://www.waze.com/>>. Acesso em: 8 de novembro 2014.

VEINS. 2014. **Vehicles in Network Simulator**. Disponível em:<<http://veins.car2x.org/>>. Acesso em: 15 de maio de 2014.