



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

UM ESQUEMA DE AGREGAÇÃO DE DADOS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
DE TRÁFEGO URBANO USANDO REDES AD HOC VEICULARES

Bruno Fernandes Guedes

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira Campos

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

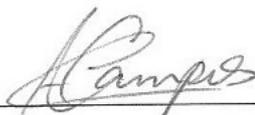
SETEMBRO DE 2014

UM ESQUEMA DE AGREGAÇÃO DE DADOS PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
DE TRÁFEGO URBANO USANDO REDES AD HOC VEICULARES

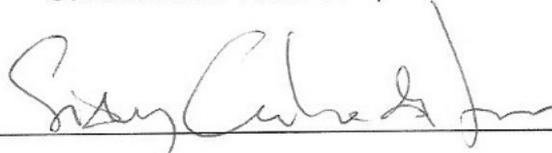
Bruno Fernandes Guedes

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO (UNIRIO), APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA ABAIXO
ASSINADA.

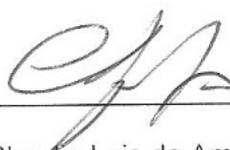
Aprovada por:



Carlos Alberto Vieira Campos, D. Sc. – UNIRIO



Sidney Cunha de Lucena, D. Sc. – UNIRIO



Claudio Luis de Amorim, Ph. D. – UFRJ



Luis Henrique Maciel Kosmalski Costa, Dr. – UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2014

Guedes, Bruno Fernandes.
G924 Um esquema de agregação de dados para sistemas de informação de
tráfego urbano usando redes ad hoc veiculares / Bruno Fernandes
Guedes, 2014.
108 f. ; 30 cm

Orientador: Carlos Alberto Vieira Campos.
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do
Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

1. Redes de ad hoc veiculares. 2. VANET. 3. Agregação de dados.
4. Sistemas de informações de tráfego. 5. Cenários urbanos. I. Campos,
Carlos Alberto Vieira. II. Universidade Federal do Estado do Rio de
Janeiro. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Curso de Mestrado
em Informática. III. Título.

CDD – 005.5

À minha mãe Palmira e minha esposa Nathalia,
que sempre me incentivaram a seguir em frente
em meus projetos de vida.

Agradecimentos

A Deus, que me deu forças para conseguir finalizar este trabalho e concluir mais uma etapa da minha vida. A Ele agradeço em primeiro lugar por nunca ter me abandonado, principalmente nos meus momentos de angústia.

À minha mãe Palmira, por todas as conversas, orações e incentivos para que eu perseverasse até o fim.

À minha amada esposa Nathalia, pelo apoio e por ter tido tamanha paciência e compreensão comigo, em especial nos momentos em que não pude dar todo o carinho que era merecido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira Campos, por toda paciência, conselhos e por compreender as minhas limitações e me ajudar a superá-las. Muito obrigado por tudo!!! Assim como aos professores Sidney, Morganna, Sean e Pimentel pelo apoio e pelas dicas preciosas que enriqueceram muito este trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, em especial aos amigos Luiz Fernando e André Martins que compartilharam da minha angústia e foram companheiros em ouvir minhas lamentações e desabaços nos momentos difíceis no decorrer do mestrado.

Aos colegas do CEFET-RJ/UnED NI (Unidade de Ensino Descentralizada de Nova Iguaçu) que tanto me incentivaram a fazer o mestrado, para me capacitar e me tornar um melhor profissional beneficiando os meus futuros alunos com o meu conhecimento adquirido.

A todos os profissionais da Unirio, que fizeram com que o curso de mestrado superasse as minhas expectativas.

Aos meus familiares, amigos e todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta jornada.

GUEDES, Bruno Fernandes. **Um Esquema de Agregação de Dados para Sistemas de Informação de Tráfego urbano usando redes ad hoc veiculares**. UNIRIO, 2014. X páginas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática Aplicada, UNIRIO.

RESUMO

Com o advento das redes ad hoc veiculares (Vehicular Ad hoc Networks - VANETs), é possível que as informações de tráfego sejam coletadas e disseminadas em tempo real por sensores móveis, presentes nos veículos, em vez de sensores fixos utilizados nos atuais sistemas de informação de tráfego baseados em infraestrutura. Em cenários urbanos, nos quais os veículos geram transmissões simultâneas, inclusive de informações redundantes, a ocorrência de colisões e contenções no canal pode ser freqüente, tornando a escalabilidade um dos principais desafios dos sistemas de tráfego em VANETs. Assim, a agregação de dados é uma técnica importante para esse cenário.

Nesta dissertação é apresentado um esquema de agregação de dados para um sistema de informações de tráfego em VANETs aplicadas em cenários urbanos, que utiliza a segmentação das vias baseada em interseções e que dissemina as informações levando em consideração a topologia das cidades com o intuito de otimizar o processo de disseminação.

Para avaliação de desempenho foram utilizados cenários extraídos de mapas reais de diferentes cidades, comparando o esquema proposto com outras abordagens propostas na literatura, analisando a taxa de notificação, o número de mensagens geradas, o tempo de notificação e o desvio médio.

Os resultados obtidos apontaram que a abordagem utilizada no esquema proposto obteve uma redução significativa, que variou entre 54,7% a 86,3%, do número de mensagens geradas, e do tempo de notificação, que ficou entre 8% e 47,5%, ao mesmo tempo em que aumentou a taxa de notificação em até 30% e obteve, em redes mais densas, um menor desvio médio.

Palavras-chave: Redes ad hoc veiculares; VANET; agregação de dados; sistemas de informações de tráfego; cenários urbanos.

ABSTRACT

With the advent of vehicular ad hoc networks (VANETs), it is possible that traffic information is collected and disseminated in real time by mobile sensors, present on the vehicles, instead of fixed sensors used in current traffic information systems based on infrastructure. In urban settings, in which vehicles generate simultaneous transmissions, including redundant information, the occurrence of collisions and contentions in the channel can be frequent, making scalability a major challenge of traffic systems in VANETs. Thus, data aggregation is an important technique for this scenario.

This dissertation presents a data aggregation scheme for a traffic information system in VANETs applied to urban settings, which uses the segmentation of the streets based on intersections and disseminates information taking into account the topology of the cities in order to optimize the dissemination process.

Scenarios extracted from real maps of different cities were used for performance evaluation and the proposed scheme was compared to other approaches proposed in literature, analyzing notification rate, number of generated messages, notification time and mean deviation.

The results showed that the approach used in the proposed scheme obtained a significant reduction, which ranged from 54.7% to 86.3% for the number of generated messages and between 8% and 47.5% for the notification time. At the same time, the reporting rate increased by 30% and had, in denser networks, a smaller mean deviation.

Keywords: Vehicular ad hoc networks; VANET; data aggregation; traffic information systems; urban scenarios.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	3
1.2	Objetivos e Contribuições	5
1.3	Estrutura da Dissertação.....	6
2	VANETs.....	8
2.1	Conceituação.....	8
2.2	Comunicação em Redes Veiculares	9
2.2.1	O Padrão IEEE 802.11p	10
2.2.2	Arquitetura WAVE	11
2.3	Aplicações para Redes Veiculares.....	12
2.3.1	Aplicações de Segurança	13
2.3.2	Aplicações de Entretenimento ou do Usuário	13
2.4	Simulação e Mobilidade em Redes Veiculares.....	14
2.4.1	Traces de Mobilidade	15
2.4.1.1	Traces Realistas de Mobilidade	15
2.4.1.2	Traces Reais de Mobilidade	16
3	Trabalhos Relacionados	18
3.1	Agregação de Dados	18
3.1.1	Esquemas de Agregação para RSSF	19
3.1.2	Esquemas de Agregação de Dados para VANETs.....	20
3.2	Propostas de Agregação de Dados para VANETs.....	24
4	Disseminação de Informações em VANETs	32
4.1	Difusão de Múltiplos Saltos.....	34
4.1.1	Difusão de Múltiplos Saltos Baseada em Atrasos.....	34
4.1.2	Difusão de Múltiplos Saltos Baseada em Probabilidade de Retransmissão.....	35
4.1.3	Difusão de Múltiplos Saltos Baseada na Codificação de Rede.....	35
4.2	Difusão de Único Salto.....	37

4.2.1 Difusão de Único Salto com Intervalo Fixo	37
4.2.2 Difusão de Único Salto com Intervalo Adaptativo	38
5 Esquema de Agregação Proposto	40
5.1 Segmentação Baseada em Interseções.....	40
5.2 Esquema Proposto	43
5.2.1 Componente de Decisão	47
5.2.2 Componente de Fusão	48
5.2.3 Componente de Disseminação.....	48
5.2.4 Base de conhecimento local do veículo.....	49
6 Análise de Desempenho.....	52
6.1 Cenários de Simulação	53
6.2 Métricas de Desempenho	57
6.3 Resultados das Simulações	59
6.3.1 Análise da Disseminação	60
6.3.2 Análise da Agregação	72
6.4 Análise Complementar.....	77
6.5 Discussão dos Resultados.....	85
7 Conclusões.....	87
7.1 Considerações Finas	87
7.2 Trabalhos Futuros.....	89
Referências Bibliográficas	90

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Características dos esquemas de agregação propostos na literatura.....	29
Tabela 4.1 – Características das difusões de múltiplos saltos e de único salto.....	39
Tabela 6.1 – Parâmetros utilizados nas simulações	57
Tabela 6.2 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados	66
Tabela 6.3 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados	70
Tabela 6.4 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados	80

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Alocação do espectro para aplicações DSRC	10
Figura 2.2 – Pilha de protocolos WAVE	12
Figura 3.1 – Disseminação de mensagens atômicas (a) e disseminação de mensagens agregadas (b)	21
Figura 3.2 – Estrutura básica de um esquema de agregação de dados.....	23
Figura 4.1 – Taxonomia dos mecanismos de disseminação em broadcast	33
Figura 4.2 – Comparação entre a transmissão tradicional e a transmissão utilizando codificação de rede.....	36
Figura 5.1 – Segmentação baseada em interseções	42
Figura 5.2 – Diferença entre disseminação em uma interseção e no meio de um segmento.....	44
Figura 5.3 – Mensagem disseminada pelo esquema de agregação INATIS	46
Figura 5.4 – Arquitetura básica do esquema de agregação INATIS.....	46
Figura 5.5 – Fluxograma de funcionamento do esquema de agregação INATIS.....	50
Figura 6.1 – Mapa do trecho de Manhattan utilizado nas simulações	54
Figura 6.2 – Mapa do trecho de Roma utilizado nas simulações	54
Figura 6.3 – Segmentos utilizados na análise, cenário de Manhattan.....	60
Figura 6.4 – Segmentos utilizados na análise, cenário de Roma	61
Figura 6.5 – Quantidade de mensagens geradas pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW para o cenário de Manhattan (a) e para o de Roma (b)	62
Figura 6.6 – Taxa de notificação alcançado pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B (b), C (c) e D (d) do cenário de Manhattan ..	63
Figura 6.7 – Taxa de notificação alcançado pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B(b), C (c) e D (d) do cenário de Roma	64

Figura 6.8 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	66
Figura 6.9 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	67
Figura 6.10 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	68
Figura 6.11 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	68
Figura 6.12 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	69
Figura 6.13 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	71
Figura 6.14 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	71
Figura 6.15 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	72
Figura 6.16 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento C do cenário de Manhattan e quantidade de 50 veículos	74
Figura 6.17 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento C do cenário de Manhattan e quantidade de 150 veículos	75

Figura 6.18 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Roma e quantidade de 50 veículos	76
Figura 6.19 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Roma e quantidade de 150 veículos	76
Figura 6.20 – Mapa do trecho de Manhattan (2 km x 2 km), com a indicação dos respectivos segmentos analisados	77
Figura 6.21 – Quantidade de mensagens geradas pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km)	78
Figura 6.22 – Taxa de notificação alcançada pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B(b), C(c) e D(d) do cenário de Manhattan (2 km x 2 km)	79
Figura 6.23 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	80
Figura 6.24 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	81
Figura 6.25 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	82
Figura 6.26 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos	82
Figura 6.27 – Velocidade observada pelo oráculo e pelos esquemas INATIS e SOTIS (1s) em relação ao segmento B, do cenário de Manhattan (2 km x 2 km), com uma quantidade de 150 veículos	83
Figura 6.28 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Manhattan (2 km x 2 km) e quantidade de 150 veículos ...	84

Glossário

BPSK – Binary Phase Shift Keying

C4R – Citymob for Roadmaps

CASCADE – Cluster-based Accurate Syntactic Compression of Aggregated Data

CSMA/CA –Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

DSRC – Dedicated Short Range Communications

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

INATIS – In Network Aggregation for Traffic Information System

ITS – Intelligent Transport Systems

MAC – Media Access Control

MANET – Mobile Ad hoc Networks

NCTUns – National Chiao Tung University Network Simulator

OBU – On board Unit

OFDM –Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OSM – Open Street Map

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying

RSSF – Rede de Sensores Sem Fio

RSU – Road Side Unit

RW – Random Wait

SEDYA – Secure Dynamic Aggregation

SIT – Sistemas de Informações de Tráfego

SMART – Structure-free Message Aggregation and Routing

SOTIS – Self-Organizing Traffic Information System

SUMO – Simulation of Urban Mobility

V2I – Vehicle to Infrastructure

V2V – Vehicle to Vehicle

VANET – Vehicular Ad hoc Networks

WAVE – Wireless Access in the Vehicular Environment

WSMP – Wave Short Message Protocol

1 Introdução

Com o aumento significativo do número de veículos trafegando nas cidades e rodovias a cada ano, o tempo gasto pelas pessoas dentro deles também tem aumentado. Diante desse cenário, diversos sistemas têm surgido com intuito de melhorar o conceito de dirigir. Um sistema que tem se aperfeiçoado é o sistema de informações de tráfego (SIT), onde a infraestrutura de transporte é complementada com as tecnologias de informação e comunicação com os objetivos de alcançar a melhoria da segurança dos passageiros, a redução no tempo de viagem e no consumo de combustível, bem como atenuar o desgaste do veículo [Dietzel et al. 2011].

Com o advento das novas tecnologias de comunicação e a disponibilidade de dispositivos computacionais e sensores de baixo custo, é possível coletar e processar dados de diversas fontes [Martinez et al. 2010]. Uma dessas tecnologias é a Rede Ad Hoc Veicular (*Vehicular Ad Hoc Networks* - VANETs), que tem recebido atenção tanto de pesquisadores quanto de empresas automobilísticas, devido ao seu grande potencial. Basicamente é uma rede sem fio formada por veículos, permitindo a comunicação entre eles e que tem como objetivo prover tanto aplicações de segurança no trânsito, como alerta de acidentes, quanto aplicações de entretenimento, como acesso à Internet.

Embora seja uma instanciação das Redes Ad Hoc Móveis (*Mobile Ad Hoc Networks* – MANETs), as VANETs possuem características especiais que as tornam

únicas [Toor et al. 2008]. Nas MANETs podemos citar como principais características as mudanças constantes na sua topologia, capacidade de transmissão e fonte de energia limitadas. Já nas VANETs os nós móveis possuem sua mobilidade limitada pelas vias nas quais trafegam, porém, geralmente em alta velocidade, bem como não possuem limitação de energia devido possuírem baterias de grande capacidade. É importante ressaltar que para esses veículos trocarem informações entre si, devem estar equipados com dispositivos que permitam tal comunicação, como por exemplo, as unidades de bordo (*On Board Units* – OBUs).

Em relação aos cenários das VANETs, podemos citar seu uso em rodovias, onde não encontramos a presença de obstáculos como prédios e árvores, não representando restrições a comunicação dos nós, e em áreas urbanas onde a presença de cruzamentos, semáforos e obstáculos, como prédios e árvores, tornam esse cenário altamente complexo e desafiador.

Levando em consideração os cenários urbanos, os congestionamentos de veículos são muito comuns. A respeito das aplicações de segurança vislumbradas para VANETs, podemos citar, por exemplo, as que poderiam ser usadas para fornecer aos motoristas quais as melhores rotas para os seus destinos [Dietzel et al. 2009b]. Isso ajudaria a diminuir o congestionamento nas estradas e manteria uma maior fluidez do tráfego, aumentando assim a capacidade das estradas e prevenindo o aumento dos engarrafamentos. Um outro benefício que esse tipo de aplicação traria, seria a maior rapidez no resgate a vítimas no caso dos congestionamentos serem causados por um acidente, uma vez que o fluxo para aquele determinado local seria evitado. Finalizando, elas também poderiam ter o efeito indireto na redução de acidentes de trânsito, uma vez que os motoristas não estariam irritados com congestionamentos levando-os a seguir as leis de trânsito mais à risca.

É possível perceber o potencial para o desenvolvimento de diversas aplicações relacionadas às VANETs, com o intuito de suprir os mais variados propósitos,

passando por segurança no trânsito e serviços de emergência até entretenimento digital. Contudo uma observação importante é que essas aplicações devem garantir que os problemas inerentes às redes veiculares, como a mobilidade dos nós e o particionamento da rede, não influenciem no funcionamento das mesmas, fazendo com que elas possam ser realmente úteis e confiáveis.

1.1 Motivação

A mobilidade e o particionamento¹ não são os únicos desafios existentes nas VANETs. Um problema comum na comunicação em uma VANET é a limitada largura de banda disponível, tomando como exemplo a padronização para comunicações entre veículos chamada de comunicação de curto alcance dedicada (*Dedicated Short Range Communication* – DSRC), cujo raio de comunicação pode alcançar 1.000 metros e a taxa de transferência de dados varia de 3 a 27 Mbps [IEEE 2012]. Em um cenário de trânsito intenso, como o horário de *rush*, é muito provável que encontraremos mais de 100 veículos em um raio de 1.000 metros compartilhando o mesmo canal. Neste caso, a largura de banda disponível para cada veículo será diminuída rapidamente.

Em grandes sistemas distribuídos ou em redes de computadores, a escalabilidade é uma característica muito importante [Kosch et al. 2006]. Ela pode ser definida como a habilidade de lidar com a adição de nós ou componentes sem sofrer uma perda perceptível de desempenho. Um dos principais desafios da implantação das VANETs é justamente lidar com essa restrição, imposta pela limitada largura de banda disponível.

¹ Desconexão da rede causada pela mobilidade dos veículos [Yu et al. 2012]

Segundo [Viriyasitavat et al. 2011], a maior parte das VANETs estão presentes em cenários urbanos no qual, além de outras restrições, a comunicação é influenciada por cruzamentos, engarrafamentos e presença de prédios ao redor das ruas e avenidas.

Agregação de dados, que pode ser definida como o processo de combinar dados para refinar estimativas e previsões [Steinberg et al. 1999], é uma possível solução para esse problema. Muitas aplicações não necessitam de informações atômicas, como a exata posição ou velocidade de cada veículo em um determinado momento. Em muitos casos uma visão resumida da situação já é suficiente. Ao analisarmos como exemplo um sistema de informações de tráfego, que é usado para informar aos motoristas sobre as condições do trânsito à sua frente, uma maneira intuitiva de se implementar tal sistema seria disseminar a própria velocidade de um veículo, juntamente com todas as velocidades encaminhadas pelos veículos vizinhos. Podemos perceber que esse sistema não seria escalável, pois quanto mais veículos fizerem parte do sistema, mais informações terão de ser disseminadas, esgotando rapidamente a largura de banda disponível. Por outro lado, saber a média da velocidade da via à frente e onde possivelmente um congestionamento esteja ocorrendo seria suficiente para o motorista reagir corretamente [Dietzel et al. 2009a]. Dessa forma, somente parte da informação precisa ser disseminada, como por exemplo, a média das velocidades, que pode resultar em uma redução da sobrecarga de comunicação.

Cabe salientar que agregar, ou resumir dados, é uma possibilidade apenas para algumas aplicações, nas quais os dados resumidos são suficientes para dar suporte às mesmas.

Existem diversas propostas de agregação de dados para VANETs e algumas destas são adaptações baseadas em esquemas existentes, principalmente em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), na qual a agregação de dados é uma área de pesquisa

bem consolidada [Dietzel et al. 2014]. Entretanto, a maioria dessas propostas leva em consideração apenas cenários de rodovia, onde as características diferem totalmente dos cenários urbanos. Embora algumas propostas afirmem que o uso em cenários urbanos, sem nenhum tipo de adaptação, seja possível, nenhuma delas faz isso em detalhes. Em suma, propostas existentes para agregação de dados em VANETs para cenários urbanos são muito difíceis de encontrar, principalmente as que tratem esse tipo de cenário de maneira mais específica.

Desta forma, considerando que em aplicações como os sistemas de informações de tráfego, o uso de algum esquema de agregação de dados é um pré-requisito e que os trabalhos relacionados não levam em consideração algumas características primordiais dos cenários urbanos, como as interseções (cruzamentos ou junções) e as vias de mão dupla, decidiu-se efetuar a pesquisa em tais cenários, pois é intuitivo que algumas adaptações, ou mesmo uma reformulação completa, dos mecanismos propostos, fazem-se necessárias.

Outro motivador da pesquisa se baseia no fato de que fornecer informações de trânsito precisas está se tornando um grande desafio para as instituições públicas e empresas privadas. Além de que para fornecer informações de tráfego mais precisas e detalhadas sobre uma rede de estradas, os sensores de tráfego, que são geralmente utilizados para medir as condições de circulação, são ineficazes devido a se restringirem a coleta de apenas um tipo de informação, como a velocidade instantânea dos veículos por exemplo. [Faouzi et al. 2011].

1.2 Objetivos e Contribuições

O objetivo principal dessa dissertação é propor um esquema de agregação de dados para sistemas de informação de tráfego urbano, que utilize as VANETs, chamado de INATIS. A ideia foi modificar o esquema de agregação de dados proposto em [Rohling and Busche 2009], inserindo uma abordagem de segmentação

baseada em interseções [Kong and Tan 2008], além de utilizar uma adaptação da ideia abordada em [Fogue et al. 2012b] na disseminação das mensagens, fazendo com que as principais características, como os cruzamentos e a presença de obstáculos, presentes nos cenários urbanos sejam consideradas. Desta forma, o esquema proposto funcionaria agregando dados que pertençam a um mesmo segmento, mitigando o problema da escalabilidade ao reduzir a quantidade de informações de um segmento trafegando na rede, ao mesmo tempo que disseminaria essas informações para a maior área de cobertura possível, buscando manter o nível de precisão bem próximo da situação real do tráfego.

Uma contribuição esperada com essa pesquisa é conseguir apontar as características relevantes em esquemas de agregação de dados para um sistema de informações de tráfego, que possam ser estendidas ou modificadas com o intuito de adaptar o seu funcionamento às demandas impostas por esse tipo de sistema quando se utiliza VANETs em cenários urbanos realistas. Outra contribuição é a proposta de um novo esquema de agregação de dados para VANETs, para um sistema de informações de tráfego, que consiga prover escalabilidade dos nós na rede ao lidar com as restrições impostas pelo canal sem fio, ao mesmo tempo que consiga representar as características dinâmicas do tráfego de veículos em cenários urbanos.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos. No Capítulo 2 é levantado o panorama das VANETs, abordando sua arquitetura e as principais características que as fazem um tipo de comunicação promissora para os sistemas de transporte inteligentes.

No Capítulo 3 é realizada uma revisão sobre os esquemas de agregação de dados propostos para as VANETs, na qual são apresentadas as características de cada esquema abordado.

No Capítulo 4 é apresentada uma visão geral sobre disseminação de informações em VANETs. São abordadas as características relacionadas ao funcionamento de alguns protocolos de disseminação, bem como suas principais vantagens e limitações.

No Capítulo 5 é proposto o esquema de agregação de dados INATIS, que baseia seu funcionamento na segmentação por interseções. É detalhada sua estrutura e como cada componente do esquema busca considerar as características presentes nos cenários urbanos.

No Capítulo 6 o esquema de agregação proposto é avaliado em cenários urbanos realísticos, comparando seu desempenho com a proposta original e com o esquema utilizado para avaliar a proposta feita em [Yu et al. 2012]. As métricas avaliadas foram: taxa de notificação, número de mensagens geradas, tempo de notificação e o desvio médio dos dados gerados pelo esquema de agregação em relação aos dados originais, sem agregação.

Por fim, no Capítulo 7 é apresentada a conclusão sobre a pesquisa realizada e os resultados alcançados. Em seguida, ideias de possíveis trabalhos futuros são abordadas.

2 VANETs

O objetivo desse capítulo é dar uma visão geral sobre as VANETs, detalhando suas principais características. Assim, este Capítulo está dividido em 4 partes. Na primeira parte é dada uma introdução sobre o conceito das VANETs. Na segunda parte a comunicação em redes veiculares é explorada. Na terceira parte são descritos os tipos de aplicações vislumbradas para VANETs. Por fim, na quarta é abordado o principal método utilizado para analisar soluções propostas para VANETs, que é a simulação.

2.1 Conceituação

As redes veiculares constituem um caso especial de redes móveis cujos nós são veículos capazes de enviar, receber e encaminhar pacotes entre si. Em alguns casos, essas redes também contam com estações fixas, que podem melhorar a conectividade e oferecer acesso à Internet. Sendo assim, a comunicação em redes veiculares pode ser classificada como entre veículos (Vehicle-to-Vehicle – V2V) ou entre veículo e uma unidade de acostamento ou infraestrutura (Vehicle-to-Infrastructure – V2I) [Toor et al. 2008].

Como descrito no Capítulo anterior, as redes veiculares compartilham algumas características com as MANETs, como o dinamismo da topologia da rede e seu eventual particionamento causados pela mobilidade dos nós. Nas VANETs, a instabilidade das conexões tende a ser maior em virtude da alta velocidade relativa

dos veículos, principalmente em rodovias. Além disso, o fato dos veículos se deslocarem exclusivamente pelas vias públicas torna seu padrão de mobilidade mais previsível, o que pode ser explorado por aplicações sensíveis à localização [Boukerche et al. 2008].

É importante destacar que o tráfego de um conjunto de veículos pode ser influenciado por vários fatores, como sinais de trânsito, horário de *rush*, eventos aleatórios (como incidentes climáticos ou acidentes) e a posição de outros veículos à frente. Essas características podem ser modeladas de forma microscópica, na qual se determina a posição e a velocidade de cada veículo, incluindo manobras de ultrapassagem, mudança de faixa e manutenção de uma distância segura do veículo à frente; ou macroscópica, em que o tráfego veicular é modelado por meio de fluxos.

Outra característica importante das VANETs é que atualmente cada vez mais veículos dispõem de recursos de sensoriamento como GPS e outros sensores, o que pode contribuir para o funcionamento das aplicações de maneira georreferenciada.

2.2 Comunicação em Redes Veiculares

Para possibilitar a comunicação entre os veículos foram necessários avanços nas tecnologias sem fio, em especial no padrão IEEE 802.11, impulsionado pelo crescente interesse das universidades e indústria pelas redes veiculares, que fez o IEEE iniciar um processo de padronização das comunicações para redes veiculares conhecido como WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment). A arquitetura WAVE é definida em seis documentos: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 802.11 e IEEE 802.11p. Esses documentos descrevem todas as camadas da pilha de protocolos WAVE. O principal objetivo da arquitetura WAVE é prover a comunicação entre veículos (V2V) e entre veículos e infra-estrutura (V2I).

2.2.1 O Padrão IEEE 802.11p

A tecnologia de comunicação sem fio proposta para redes veiculares utiliza o sistema dedicado de comunicações de curto alcance ou DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) que opera no espectro de 5,9 GHz, reservada pela FCC (*Federal Communications Commission*) nos EUA, para essa finalidade. Utiliza uma faixa de frequência de 75 MHz que é dividida em sete canais de 10 MHz cada, deixando uma margem de segurança de 5 MHz na parte inferior da banda. Suporta tanto aplicações de segurança quanto de entretenimento em ambientes de comunicação V2V e V2I e foi padronizado como IEEE 802.11p, constituindo a camada física e de controle de acesso ao meio do padrão IEEE P1609 (WAVE) [Alves et al. 2009].

Como mostrado na Figura 2.1, o canal 178 é o canal de controle (CCH), que é reservado para aplicações de alta prioridade e mensagens de controle. Os dois canais nas extremidades do espectro são reservados para usos especiais. O restante são canais de serviço (SCH) disponíveis para aplicações de segurança e aplicações do usuário.

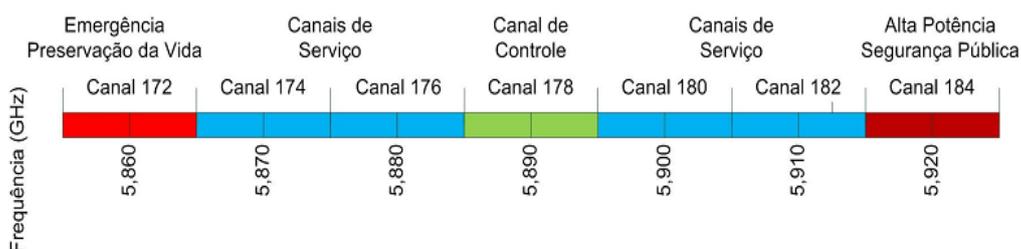


Figura 2.1 – Alocação do espectro para aplicações DSRC [Alves et al. 2009]

O padrão IEEE 802.11p é uma extensão do protocolo IEEE 802.11 e é baseada principalmente no padrão IEEE 802.11a. Ele define melhorias ao 802.11 necessárias às aplicações para os sistemas de transportes inteligentes (*Intelligent Transport Systems – ITS*). Estas melhorias incluem a capacidade de troca de

informações em alta velocidade entre veículos e entre veículos e unidades de acostamento. Os principais parâmetros da camada física são: (i) Taxas de transferência de 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 e 27 Mbps e (ii) Modulação BPSK, QPSK, 16-QAM e 64 QAM. Em relação à camada de enlace, utiliza o protocolo CSMA/CA como método de acesso ao meio e sistema OFDM [IEEE 2012].

O padrão IEEE 802.11p tem como principal objetivo permitir aplicações de segurança pública que podem salvar vidas e melhorar o fluxo de tráfego. Os serviços privados também estão autorizados, a fim de distribuir os custos de implantação e encorajar o rápido desenvolvimento e adoção de tecnologias e aplicações DSRC. De modo a proporcionar maior tempo de reação do motorista a eventos de risco, o padrão adota uma potência de transmissão máxima de 44,8 dBm, visando atingir um alcance de comunicação da ordem de 1000 metros [Stibor et al. 2007].

2.2.2 Arquitetura WAVE

Conforme citado anteriormente, a arquitetura WAVE é definida em seis documentos, designando uma família de padrões e não se restringindo somente a subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e a camada física. Os padrões da família IEEE 1609 definem outras camadas da pilha de protocolos, incluindo uma camada de Rede alternativa à camada IP, características de segurança para aplicações DSRC como autenticação e integridade, além da operação em múltiplos canais de comunicação [Alves et al. 2009]. A Figura 2.2 mostra a pilha de protocolos WAVE.

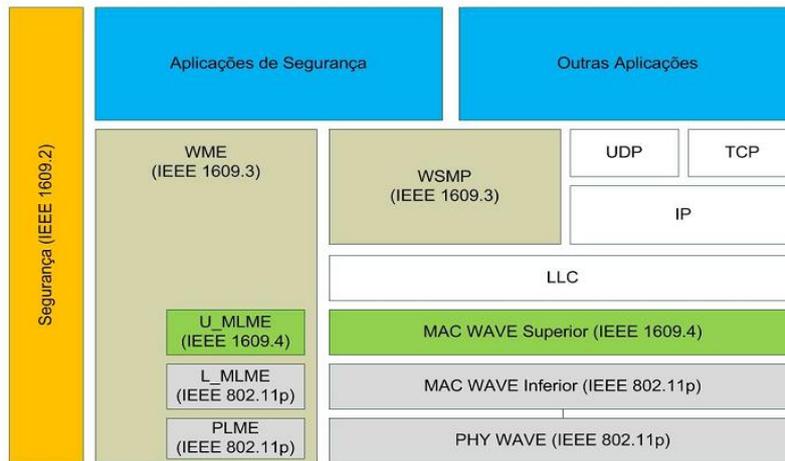


Figura 2.2 – Pilha de protocolos WAVE [Alves et al. 2009]

O principal intuito é prover um conjunto padronizado de interfaces para que diferentes fabricantes de automóveis possam prover comunicações entre veículos ou entre veículos e a infraestrutura. Podemos notar que essa arquitetura possui duas pilhas de protocolos, uma para o padrão da Internet e outra baseada no protocolo WSMP (*WAVE short message Protocol*), que foi projetada visando a comunicação em ambientes veiculares.

2.3 Aplicações para Redes Veiculares

As aplicações para VANETs podem ser divididas em duas amplas categorias: (i) as aplicações de segurança, que visam basicamente prover segurança dos veículos nas estradas e (ii) as aplicações de usuário ou de entretenimento que visam fornecer aos usuários os mais variados serviços como informações, publicidade e entretenimento durante a viagem [Toor et al. 2008]. Uma observação importante é que essas aplicações devem garantir que os problemas inerentes às redes veiculares sejam transparentes aos usuários das mesmas.

2.3.1 Aplicações de Segurança

De maneira resumida, ainda segundo [Toor et al. 2008], existem três situações principais onde as aplicações de segurança podem ser úteis: acidentes, interseções e congestionamento de trânsito. Como este último já foi abordado na introdução desta dissertação, descreveremos apenas os dois primeiros.

Entre as aplicações de segurança para os acidentes de trânsito, podemos citar a de alerta de acidentes, a qual pode ser usada para notificar os veículos de um acidente que ocorreu mais à frente na estrada, evitando assim que devido a esse acidente ocorrido, outros aconteçam em sequência. Outra aplicação de segurança para essa situação seria a de prevenção de colisões, usada para fornecer avisos antecipados aos motoristas, como por exemplo, um veículo que reduziu a velocidade ou parou bruscamente e se encontra a alguns veículos à frente. Isso aumentaria o tempo de reação do condutor que não mais dependeria somente da reação dos veículos à sua frente, podendo evitar um acidente de acontecer.

Diferente das características encontradas em rodovias, em cenários urbanos são frequentes os cruzamentos entre ruas, também chamados de interseções. Portanto, além das aplicações citadas anteriormente, outra aplicação de segurança seria a de alerta de colisões em interseções, voltada para as VANETs urbanas. Essa aplicação emitiria um alerta sobre uma possível colisão em uma interseção da qual o veículo se aproxima, fazendo com que o motorista pudesse então tomar medidas para tentar impedir a colisão de acontecer.

2.3.2 Aplicações de Entretenimento ou do Usuário

Novamente, segundo [Toor et al. 2008], existem dois tipos básicos de aplicações de usuários: aplicações de acesso à Internet e aplicações P2P (par a par).

Devido ao fato de muitas aplicações de entretenimento exigirem conectividade com a Internet, oferecer essa facilidade para os ocupantes do veículo e para as

aplicações VANETs é muito importante. Além disso, integrar a comunicação veicular com a conectividade à Internet permite a compatibilidade e a utilização de aplicações já existentes.

Como outra maneira de entretenimento, aplicações par a par também são uma abordagem interessante para VANETs. Passageiros nos veículos poderiam compartilhar música, filmes ou conversarem uns com os outros. Além disso, eles também poderiam acessar *streaming* de música ou filmes a partir de servidores especiais durante viagens longas [Alves et al. 2009].

Em suma, a quantidade de aplicações, tanto na área de segurança do trânsito quanto na área de entretenimento, constituem uma ampla variedade de opções para os mais variados propósitos.

2.4 Simulação e Mobilidade em Redes Veiculares

Além de todas as características abordadas até agora, as análises do comportamento das soluções que são desenvolvidas visando atender as demandas impostas por algumas das aplicações VANETs impõem restrições quanto à utilização de experimentos práticos, principalmente por demandarem um alto custo financeiro, elevado número de participantes, entre outras variáveis. A fim de contornar esse problema, é utilizada a técnica de simulação, que tem por objetivo reproduzir, em ambiente virtual as principais características inerentes às redes veiculares, tais como mobilidade e velocidade dos veículos, bem como as propriedades da comunicação sem fio, como método de acesso ao meio e o encaminhamento de mensagens, entre outras.

O simulador é uma ferramenta de *software* muito utilizada na área de redes de computadores, para avaliar o funcionamento e desempenho dos seus componentes, principalmente em redes em desenvolvimento como as redes veiculares. A utilização de simuladores em VANETs permite analisar o comportamento das soluções de

comunicação propostas a um baixo custo financeiro e de maneira repetível, o que propicia a realização de experimentos com as mais variadas configurações. Podemos citar como exemplos de simuladores de redes o NS-2 [ISI 2014], NS-3 [NSNAM 2014] e o NCTUns [Wang and Chou 2009].

Uma das características mais importantes da simulação de redes veiculares é sem dúvida a mobilidade dos nós [Fiore and Uppoor 2011]. Por isso, uma atenção especial deve ser dada com o intuito de representar fielmente as especificidades dinâmicas da mobilidade automotiva. Conforme descrito no início deste capítulo, esta característica é resultado da dinâmica macroscópica e microscópica do tráfego de veículos, que precisa ser corretamente modelada, a fim de se realizar simulações cujos resultados sejam confiáveis.

O que costumava ser feito era a utilização de uma demanda de tráfego aleatório, além da mobilidade baseado no menor caminho, porém não é mais aceito pela comunidade científica atualmente, pois pode levar a fluxos irrealistas e resultados de simulação tendenciosos.

2.4.1 Traces de Mobilidade

Os registros de mobilidade (*traces*) exercem um papel fundamental na simulação para análise de aplicações em ambientes veiculares. Abordaremos dois principais tipos de *traces* de mobilidade utilizados em redes veiculares. Os *traces* realistas e os *traces* reais [Viriyasitavat et al. 2011].

2.4.1.1 Traces Realistas de Mobilidade

A relevância da modelagem de mobilidade na simulação de redes veiculares é amplamente reconhecida, levando a criação de simuladores de mobilidade veiculares que têm, cada vez mais, crescido em complexidade e características. Estes simuladores de mobilidade permitem simular com precisão o movimento individual de veículos sobre uma determinada topologia de estrada e cidades da maneira mais

realista possível. A mobilidade gerada por esse tipo de simulador é também conhecida como *trace* realista.

Um exemplo de *software* simulador de mobilidade veicular é o *Simulation of Urban MObility* (SUMO), que é um simulador de tráfego de tempo discreto desenvolvido pelo Centro Aeroespacial Alemão, capaz de modelar com precisão o comportamento de motoristas individuais, representando as interações não só entre veículos como entre os veículos e as sinalizações da estrada [SUMO 2014]. Além disso, permite a importação de mapas de estrada e cidades em vários formatos, incluindo o *Open Street Map* (OSM), e reproduz fielmente semáforos e placas indicativas. Os modelos implementados pelo SUMO regulam a aceleração do veículo e as decisões de ultrapassagem, levando-se em conta uma série de fatores, entre eles a velocidade e os perfis de aceleração e desaceleração.

2.4.1.2 Traces Reais de Mobilidade

Uma alternativa válida aos *traces* de mobilidade realistas são os *traces* reais. Tais *traces* são arquivos que contém registros ordenados pelo tempo dos eventos ocorridos em um ambiente real. Os dados contidos em *traces* reais podem fornecer informações importantes, como a distribuição geográfica e a variação temporal da densidade do tráfego rodoviário ou urbano. Podemos citar como exemplo de um *trace* real o projeto *Cabspotting* [Cabspotting 2014], que rastreia os táxis de São Francisco que viajam por toda área da baía. Os registros são de *traces* individuais organizados em arquivos ASCII para cada um dos 536 táxis licenciados.

Embora capturem o comportamento do mundo real, os *traces* reais têm suas limitações. Em primeiro lugar são representações de apenas um subconjunto de todo o tráfego, em segundo, apenas modelam especificamente o trecho capturado. Além disso, o fato de serem capturados de tempos em tempos, por exemplo, a cada 10 segundos, fazem com que as posições dos veículos sejam reportadas de modo que algumas lacunas tenham que ser preenchidas ou ignoradas.

Os *traces* reais de mobilidade publicamente disponíveis têm sido bastante utilizados pela literatura. Mesmo com as limitações citadas anteriormente, eles podem ser utilizados para a realização de estudos específicos, como no caso do projeto dos táxis de São Francisco citado anteriormente. Neste projeto, o principal objetivo é usar as atividades de táxis comerciais para explorar as questões econômicas, sociais, políticas e culturais que possam ser reveladas pelos *traces*, como por exemplo, de que maneira distribuir os táxis em um determinado período do dia ou em uma determinada época do ano?

Finalizando, os *traces* reais podem ser encontrados em diversas fontes, a mais conhecida delas, e também bastante utilizada pela comunidade científica, é o banco de dados *CRAWDAD* [Crowdad 2014].

O objetivo deste capítulo foi dar um panorama geral acerca das redes veiculares. Foram abordados seus detalhes mais importantes, as características da proposta de padrão para comunicação veicular, seus tipos de aplicações, bem como o método mais utilizado para avaliar novas soluções, de forma a demonstrar as possibilidades e restrições das VANETs. No próximo capítulo é realizada uma revisão sobre alguns esquemas de agregação de dados propostos para VANETs, apresentando suas características e limitações.

3 Trabalhos Relacionados

Agregação de dados é um campo de pesquisa bem consolidado, possuindo aplicações em diferentes domínios que necessitam de sumarização de dados para alcançar maior eficiência. Ela compreende a coleta de dados brutos de fontes de dados difundidos, a composição flexível e programável dos dados brutos em dados refinados menos volumosos e a entrega no tempo dos dados refinados para os consumidores dos mesmos [Cohen et al. 2001]. Neste capítulo, as principais questões relacionadas a agregação de dados em VANETs serão tratadas, servindo como embasamento para os tópicos apresentados nos próximos capítulos.

Este capítulo está dividido em duas partes. Na primeira parte as principais características e conceitos gerais sobre os esquemas de agregação de dados utilizados em VANETs são apresentados. Na segunda parte, uma descrição das principais propostas de agregação de dados para VANETs, encontradas na literatura, é realizada.

3.1 Agregação de Dados

Antes do advento das VANETs, a agregação de dados já vinha sendo amplamente pesquisada no domínio das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Embora as redes de sensores sejam uma importante fonte de inspiração para muitos protocolos de VANET, os mecanismos de agregação desenvolvidos para as RSSF geralmente não são aplicáveis às VANETs, principalmente devido aos nós sensores

possuírem mobilidade limitada, estruturas hierárquicas e poucos nós interessados no resultado da agregação.

Por esse motivo, um conjunto diferente de mecanismos, otimizados para alta mobilidade dos nós e um grande conjunto de nós interessados no resultado, tem sido proposto para a agregação de dados em VANETs.

3.1.1 Esquemas de Agregação para RSSF

Nas RSSF os esquemas de agregação de dados existentes, os quais definem onde e como as informações serão agregadas, levam em consideração as características e restrições impostas por essas redes, conforme citados anteriormente. Dentre os esquemas para RSSF, as principais abordagens podem ser centralizadas e distribuídas.

Na abordagem centralizada os dados são encaminhados até um ponto central, onde a correlação e a agregação dos dados serão realizadas. Utiliza uma estrutura de rota fixa, como por exemplo, a baseada em árvore, para garantir que os dados possam ser agregados em certos nós sensores.

Já na abordagem distribuída, cada um dos nós tem a responsabilidade de realizar a agregação dos dados, através de algoritmos intrarrede que dispensam o uso de um ponto central para correlação e agregação dos dados ([Akyildiz et al. 2002], [Intanagonwiwat et al. 2003] e [Madden et al. 2005]). Além disso, é utilizada uma estrutura baseada em *cluster* ou em segmentos.

Segundo [Dietzel et al. 2009a, Dietzel et al. 2009b], uma agregação livre de estrutura, que utiliza a abordagem distribuída, foi proposta para resolver o problema da manutenção da hierarquia, presente na agregação baseada em árvore e em *cluster*.

Devido à escassez de recursos em RSSF, sempre que possível a agregação dos dados deve ser realizada de maneira distribuída com o intuito de estender o tempo de vida da rede.

Finalizando, as técnicas de agregação podem ser classificadas como sintáticas ou semânticas [Picconi et al. 2006]. Na sintática, dados de vários nós são compactados ou codificados, a fim de ajustar os dados em um único registro ou quadro, podendo citar como exemplo uma aplicação que extrai um subconjunto de cada registro individual e adiciona-os a um único registro, reduzindo a informação original. Na semântica, os dados dos nós individuais são resumidos como, por exemplo, em uma aplicação que, em vez de enviar a localização de cada nó, apenas informa o número de nós de uma determinada área.

3.1.2 Esquemas de Agregação de Dados para VANETs

Devido ao dinamismo das VANETs, a comunicação entre um veículo e seus vizinhos diretos predominam, uma vez que não há nenhuma garantia que sequências de mais de uma mensagem possam ser trocadas entre dois veículos. Por esta razão, esquemas baseados em *cluster* e outros esquemas que exigem conhecimento da topologia da rede, como são comuns em redes de sensores, normalmente são evitados [Heijden et al. 2013].

Apesar do predomínio das comunicações de um salto, existem diversas outras maneiras de se disseminar informações em VANETs, cada uma mais apropriada para certo tipo de aplicação, conforme será abordado em mais detalhes no próximo capítulo. As três mais importantes são: *beaconing*, *geobroadcast* (ou *geocast*) e agregação (intranete) [Schoch et al. 2008].

Para aplicações que visam melhorar a eficiência no tráfego, como os SITs, o conhecimento sobre a área que vai além da vizinhança direta do veículo (*beaconing*) é necessária, geralmente na ordem de vários quilômetros. Tal conhecimento permite a detecção de eventos a tempo de se tomar rotas alternativas. Contudo, não é viável simplesmente disseminar mensagens geradas por *beaconing* para áreas distantes

(geocast), devido à limitada largura de banda disponível em VANETs. Entretanto, aplicações como os SITs, não requerem informações exatas para suas decisões.

A disseminação de dados de único salto e múltiplos saltos de um evento vem sendo padronizada na Europa [ETSI 2010, ETSI 2011] e nos EUA [IEEE 2012]. Entretanto, nenhum mecanismo que suporta disseminação de informações de dados ambientais, como a situação corrente do tráfego, foi padronizado ainda [Heijden et al. 2013]. Uma das razões para falta de padronização é que a simples retransmissão da informação é muito ineficiente, em questões de largura de banda, para ser usada em disseminação de mensagens em larga escala, como mostrada na Figura 3.1. Ao disseminar mensagens que contenham informações a respeito da velocidade de cada veículo, podemos observar que, quanto mais veículos estiverem na via, mais informações precisam ser disseminadas, conforme a Figura 3.1(a). Entretanto, como ilustrado na Figura 3(b), se disseminarmos uma mensagem contendo apenas a velocidade média dos veículos, apenas uma mensagem precisará ser disseminada, independente da quantidade de veículos presentes na via.

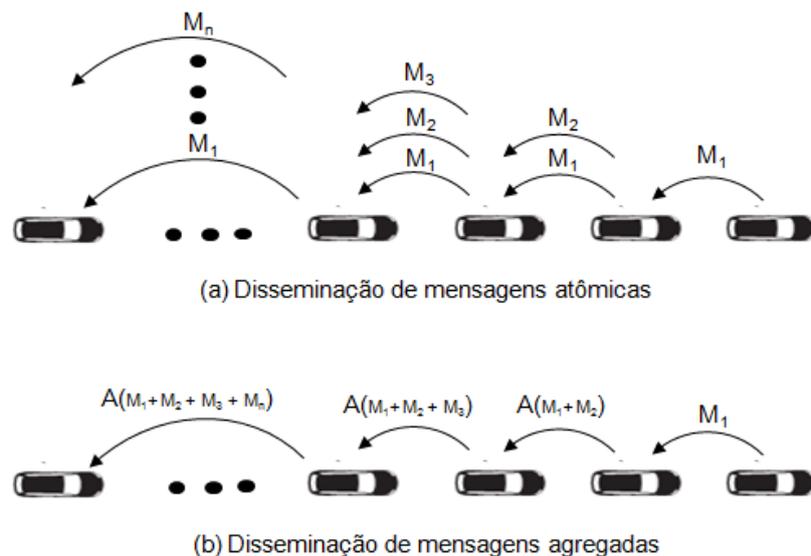


Figura 3.1 – Disseminação de mensagens atômicas (a) e disseminação de mensagens agregadas (b)

Por esse motivo, diversas soluções que empregam agregação de dados têm sido propostas. A ideia básica é que quando um veículo receber informações de outro veículo, ele decide se a informação recebida pode ser agregada com a informação já conhecida, então somente a informação agregada é disseminada. Tomando como exemplo um sistema de informações de tráfego, que poderia formar uma mensagem agregada do tipo "Há um congestionamento nos segmentos A, B e C de uma determinada estrada", a qual pode ser disseminada para regiões distantes.

Ao mesmo tempo em que a agregação de dados é indispensável para disseminação de informações de maneira escalável em VANETs, as características necessárias para um adequado esquema de agregação mantêm-se indefinidas e completamente dependentes da aplicação, dificultando assim a medição da efetividade do esquema de agregação [Shoib and Song 2012].

Segundo [Tal and Muntean 2012], um levantamento sobre as soluções de agregação de dados em VANETs revela que existem duas abordagens principais. Em ambas as abordagens as informações são coletadas localmente (através dos sensores do próprio veículo), ou recebidas de outros veículos. Os dados são então analisados e verifica-se a existência de alguma correlação entre eles. Em caso positivo, os dados são agregados ou não e então são disseminados na rede. A única diferença entre as abordagens é sobre quando os dados serão armazenados localmente, antes ou após a agregação.

[Dietzel et al. 2011] propôs um modelo de arquitetura para modelar esquemas de agregação de dados em VANETs. Os autores afirmam que cada esquema de agregação pode ser modelado por essa proposta, porém a comunicação entre os componentes é uma particularidade de cada solução. O modelo proposto possui os quatro componentes funcionais mostrados na Figura 3.2 e a descrição de cada um deles é dada em seguida:

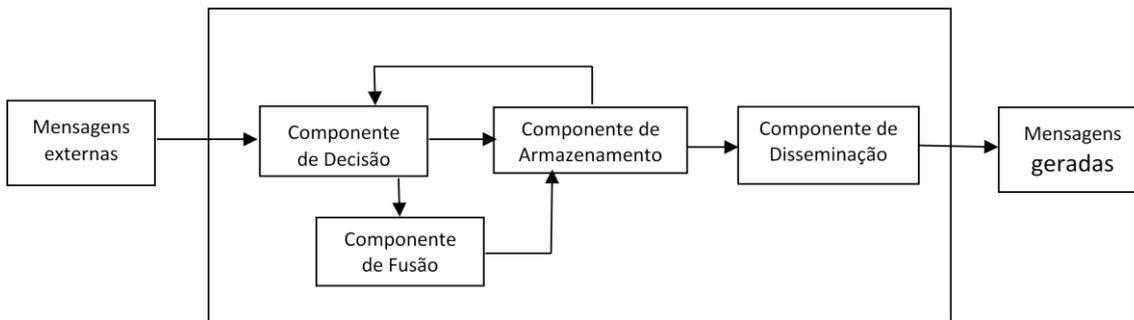


Figura 3.2 – Estrutura básica de um esquema de agregação de dados

- **Componente de decisão:** responsável por decidir se duas informações são similares o suficiente para serem agregadas.
- **Componente de fusão:** responsável por realizar a fusão² das informações.
- **Componente de armazenamento:** chamado de *world model* ou base de conhecimento, responsável por armazenar toda informação disponível para aquele veículo.
- **Componente de disseminação:** responsável por retransmitir a informação, agregada ou não, para os veículos vizinhos, resultando em uma indireta disseminação de múltiplos saltos.

Com o intuito de diminuir os custos de implantação da tecnologia, a maioria dos esquemas baseados em VANETs admite a ausência de qualquer tipo de infraestrutura fixa para realizar a agregação, fazendo com que a visão agregada seja criada com o esforço colaborativo de todos os veículos na estrada, seguindo uma abordagem distribuída, conforme citado anteriormente para as RSSF.

Este tipo de agregação intrarrede é especialmente adequada para as aplicações que necessitam construir e manter uma base de conhecimento sobre grandes áreas, além de tolerar informações aproximadas, bem como atrasos na

² Processamento de múltiplas fontes de dados, gerando um único dado de saída [Nakamura 2007].

disseminação dessas informações, como por exemplo, os sistemas de informações de tráfego [Dietzel et al. 2014].

3.2 Propostas de Agregação de Dados para VANETs

Conforme descrito anteriormente, os principais componentes de um esquema de agregação são: decisão, fusão, armazenamento e disseminação. Entretanto, os esquemas de agregação para VANETs propostos na literatura geralmente focam em apenas um desses componentes [Dietzel et al. 2014], geralmente no de decisão. Além disso, o cenário escolhido para avaliação de uma proposta pode variar entre rodovia e área urbana. A seguir, daremos uma visão geral das principais propostas de agregação de dados para VANETs.

Self-Organizing Traffic Information System (SOTIS) [Rohling and Busche 2009] propõe um SIT baseado em VANETs, totalmente livre do uso de qualquer infraestrutura. Para realizar a agregação dos dados de maneira distribuída, SOTIS divide a via em segmentos de tamanho fixo, onde cada segmento recebe uma identificação única. Essa divisão serve como parâmetro para o componente de decisão correlacionar as informações sobre a velocidade em um segmento. Caso elas pertençam a um mesmo segmento então poderão ser agregadas.

Embora reduza a sobrecarga de comunicação ao encaminhar somente as médias da velocidade de cada segmento, essa abordagem pode causar problemas de representação da realidade, uma vez que, com o uso de segmentos fixos, pequenos engarrafamentos, localizados na fronteira entre dois segmentos, podem não ser corretamente representados. Outro problema com esse esquema diz respeito ao desperdício de largura de banda no caso de fenômenos de maior dimensão, que abrangem vários segmentos, os quais poderiam ser ainda mais agregados, como por exemplo um congestionamento que se inicia em um determinado segmento e se estenda por vários segmentos adjacentes.

Em relação ao mecanismo de disseminação, SOTIS utiliza um intervalo de tempo, configurado em dois segundos, como parâmetro para esse mecanismo. Embora mencione que o intervalo de disseminação possa ser adaptado às condições locais para evitar situação de sobrecarga no canal sem fio, não descreve como fazer essa adaptação. Finalizando, a proposta é avaliada em um cenário de rodovia, sendo que o interessante seria avaliá-lo em áreas urbanas, pois são os cenários mais comuns das VANETs.

Catch-up [Yu et al. 2012] usa a segmentação da via similarmente a SOTIS, porém, adicionalmente, introduz políticas de atrasos controlados na disseminação para permitir uma agregação mais eficiente. Sendo assim, os mesmos problemas elencados na segmentação utilizada por SOTIS se aplicam a esta proposta.

Diferentemente de SOTIS, *Catch-up* não agrega informações de velocidades, mas sim de um determinado evento, como as condições da via de um segmento. Os detalhes de como essa agregação é feita não são mencionados pelos autores, entretanto, o mecanismo de disseminação é descrito em detalhes. A ideia principal é fazer com que um atraso adaptativo na disseminação da informação, sobre um determinado evento, seja inserido com o intuito de permitir que mais informações correlacionadas tenham a chance de se encontrar para então serem agregadas. Caso o mecanismo identifique que existe a possibilidade de receber mais informações sobre o mesmo evento, ela aplica um atraso maior, chamado de *Walk*, antes de uma nova disseminação, caso contrário espera um tempo curto, chamado de *Run*, antes de disseminar. Por fim, além dos valores de *Walk* e *Run* serem intervalos de tempo configuráveis, os valores definidos para esses parâmetros podem nem sempre ser as melhores opções e a análise é feita em um cenário de rodovia.

Ao contrário de SOTIS e Catch-up, Cluster-based Accurate Syntactic Compression of Aggregated Data in VANETs (CASCADE) [Ibrahim and Weigle 2008] utiliza um esquema de agregação sintática³, dividindo a área à frente de um determinado veículo em *clusters*, com o objetivo de dar aos veículos uma informação precisa da situação do tráfego a sua frente. As informações dos veículos, tais como localização e velocidade, contidas em cada *cluster*, são comprimidas e agregadas em uma única informação representando a característica média de cada *cluster*. Assim, uma mensagem simples pode representar as informações sobre os veículos de um *cluster* inteiro.

Assim como na divisão em segmentos, a divisão em *cluster*, usada no mecanismo de decisão do esquema proposto por CASCADE, acarreta os mesmos problemas citados anteriormente, uma vez que os *clusters* também possuem um tamanho fixo. Em relação ao mecanismo de disseminação, CASCADE utiliza uma técnica que limita a quantidade de veículos disseminando uma mesma informação, com base na densidade da rede em um *cluster*. A ideia é fazer com que, quanto mais veículos estiverem em um *cluster*, menos veículos disseminem informações redundantes sobre esse mesmo *cluster*, evitando colisões e redundâncias. O problema com essa abordagem de disseminação é que nem sempre o veículo que disseminará a informação estará localizado mais próximo da extremidade de um *cluster*, fazendo com que, em determinadas situações, o veículo dentro do *cluster* vizinho não esteja dentro do seu raio de transmissão e, conseqüentemente, não consiga receber a informação. Finalizando, além da avaliação ser feita em um cenário de rodovia, segundo [Dietzel et al. 2009b], o esquema não se adapta muito bem aos cenários de rodovias com curvas, pois dificultam a formação dos *clusters*.

³ Compactação ou codificação de dados de vários nós em um único registro ou quadro [Picconi et al. 2006].

Os autores de [Dietzel et al. 2009a] propõem um esquema totalmente livre de estrutura, baseado no uso da lógica *fuzzy*. O intuito é de contornar os problemas gerados pela segmentação de tamanho fixo, fazendo com que o esquema se adapte melhor às situações reais das vias. Segundo os próprios autores, o mecanismo de decisão consegue uma flexibilidade na área agregada ao custo de uma pequena sobrecarga na comunicação. Um problema com essa abordagem é que a falta de uma estrutura que divida previamente as vias pode fazer com que os veículos que estejam próximos um do outro, porém em vias diferentes, acabem agregando dados que não poderiam ser agregados.

Para o mecanismo de disseminação, o esquema que utiliza a lógica *fuzzy* faz uma prévia seleção de quais informações devem ser enviadas, uma vez que a quantidade de informações dentro da sua base de conhecimento é maior do que a quantidade de informações que cabem em uma mensagem a ser disseminada. Desse modo, o mecanismo de disseminação seleciona 75% de informações referentes às áreas próximas, determinadas por regiões adjacentes à localização do veículo que irá disseminá-las, e 25% de informação de áreas distantes, determinadas por regiões que vão além das adjacências da localização do veículo. O intervalo de tempo configurado para o mecanismo de disseminação é de três segundos. Assim como nas propostas anteriores, o cenário utilizado para avaliação da proposta é uma rodovia.

Em Secure Dynamic Aggregation in VANETs (SEDYA) [Heijden et al. 2013] é proposto um esquema de agregação dinâmico e seguro. Embora o termo dinâmico sugira uma agregação sem a utilização de nenhum tipo de estrutura de segmentação fixa, conforme a proposta baseada no uso da lógica *fuzzy* [Dietzel et al. 2009a], o

mecanismo de decisão, que vai garantir a agregação segura⁴, requer a utilização de pontos de referência, na via, para o seu funcionamento. Isso faz com que a agregação não seja totalmente livre de estrutura uma vez que esses pontos de referência devem ser conhecidos previamente, fazendo com que a sua área de abrangência seja sempre a mesma.

Conforme descrito no Capítulo 2, a arquitetura WAVE tem como um dos seus objetivos prover uma comunicação segura em ambientes veiculares. Talvez por esse motivo, existam poucas propostas de agregação de dados em VANETs que foquem nas questões de agregação segura. Continuando, os autores de SEDYA mencionam que o mecanismo de disseminação do esquema proposto pode utilizar qualquer esquema genérico eficiente de disseminação. Por fim, a análise da proposta é feita utilizando-se um cenário de rodovia.

Por último, Structure-free Message Aggregation and Routing scheme for Traffic information systems (SMART) [Nair et al. 2013] propõe um esquema de agregação de dados livre de estrutura, para um sistema de informações de tráfego. Fundamentalmente, a ideia é formatar e padronizar a estrutura interna do pacote de dados, de forma a permitir que os dados recebidos de diferentes nós sejam analisados e armazenados em uma estrutura de dados bem organizada que permita uma rápida e eficiente busca e comparação. Para isso, as mensagens são divididas em duas partes: a primeira parte indica a categoria/subcategoria para a qual a mensagem pertence, enquanto a segunda parte especifica os parâmetros específicos daquela mensagem. Similarmente à Catch-up, SMART não agrega informações de velocidade, mas sim de eventos. Logo, o mecanismo de decisão precisa buscar na sua base de conhecimento apenas pela categoria do evento e, caso o encontre, verifica se os

⁴ Mecanismo de autenticação que impeça um atacante de incluir informações falsas nas mensagens geradas por um esquema de agregação [Heijden et al. 2013]

demais parâmetros estão correlacionados o suficiente para serem agregados. Embora livre de estrutura como a proposta da lógica fuzzy, não possui o mesmo problema que este, pois SMART trabalha com eventos confirmados.

Em relação ao mecanismo de disseminação, SMART utiliza um esquema de inundação que inclui na mensagem transmitida todos os vizinhos de um salto. Ao receber essa mensagem um veículo compara todos os seus próprios vizinhos de um salto com a lista que veio na mensagem recebida. Se todos estiverem na lista, a mensagem não será disseminada por esse veículo. Em suma, a mensagem não será disseminada para os vizinhos em comum de um salto. Mais uma vez o cenário utilizado para avaliação foi uma rodovia.

A Tabela 3.1 sumariza a análise das propostas de esquemas de agregação de dados para VANETs, encontradas na literatura, apresentadas anteriormente.

Tabela 3.1 – Características dos esquemas de agregação propostos na literatura

Esquema	Agregação	Cenário de Avaliação	Características
SOTIS [Rohling and Busche 2009]	Baseado na segmentação da via	Rodovia	Segmentos de tamanho fixo
CATCH-UP [Yu et al. 2012]	Baseado na segmentação da via	Rodovia	Segmentos de tamanho fixo; atraso adaptativo no encaminhamento dos dados
CASCADE [Ibrahim and Weigle 2008]	Baseado em Cluster	Rodovia	Emprega apenas compressão de dados sintática, sem perda.
FUZZY LOGIC [Dietzel et al. 2009a]	Livre de estrutura	Rodovia	Emprega correlação espaço temporal para agregação dos dados
SMART [Nair et al. 2013]	Livre de estrutura	Rodovia	Estrutura o pacote de dados para facilitar a classificação dos dados e o seu correlacionamento
SEDYA [Heijden et al. 2013]	Baseado em pontos de referência	Rodovia	Emprega mecanismos para prover uma agregação segura

Podemos perceber que todas as propostas apresentadas levaram em consideração apenas cenários de rodovia para análise do funcionamento dos esquemas de agregação, cenários esses onde as características são totalmente diferentes das presentes nos cenários urbanos [Viriyasitavat et al. 2011]. Embora algumas propostas afirmem que o uso em cenários urbanos, sem nenhum tipo de adaptação, seja possível, nenhuma delas faz isso em detalhes.

Os autores de SEDYA [Heijden et al. 2013] afirmam que sua proposta contempla especificamente cenários de rodovia, não sendo possível a utilização em cenários urbanos. Outros que não fazem essa menção, como SOTIS [Rohling and Busche 2009], CASCADE [Ibrahim and Weigle 2008] e FUZZY LOGIC [Dietzel et al. 2009a], não levam em consideração algumas características primordiais em cenários urbanos, como as interseções e as vias de mão dupla.

Resumindo, propostas existentes para agregação de dados em VANETs em cenários urbanos são muito difíceis de encontrar, principalmente as que tratem esse tipo de cenário, de maneira específica.

Além disso, ao contrário das propostas para os mecanismos de decisão e fusão, o mecanismo de disseminação de quase todos os esquemas existentes é bastante simples. Os veículos basicamente disseminam sua base de conhecimento, ou um subconjunto dela, geralmente em intervalos periódicos [Dietzel et al. 2014]. Assim, espera-se que o esquema de agregação de dados proposto por esse trabalho considere as principais características dos cenários urbanos tanto no componente de decisão quanto no componente de disseminação.

Ainda segundo [Dietzel et al. 2014], uma questão que permanece em aberto é a de selecionar uma região de disseminação mais adequada em cenários urbanos, uma vez que a estrutura das vias são mais complexas, além da disseminação em áreas circulares poder exigir muita largura de banda.

Nesse capítulo foi apresentada uma visão geral sobre agregação de dados, assim como as principais propostas referentes a agregação de dados em VANETs, levando em consideração suas características, seus pontos positivos e negativos. Foi apresentando também um panorama que demonstrou a tendência da utilização de cenários de rodovias para avaliação de tais propostas, fazendo com que as mesmas não levem em consideração as características dos cenários urbanos, que também é um cenário muito importante e desafiador para o uso de VANETs.

4 Disseminação de Informações em VANETs

Informações a respeito do tráfego nas vias são de interesse público, ou seja, essas informações são úteis para todos os motoristas que trafegam pelas vias e não somente para alguns deles. Portanto, é mais apropriado disseminar essas informações através de mecanismos que utilizem disseminação em *broadcast* (ou por difusão), do que *unicast* (ponto a ponto). Neste capítulo iremos dar uma visão geral sobre as principais características dos mecanismos de disseminação de informações em *broadcast* para VANETs. O intuito principal é aprofundar um pouco mais os conhecimentos do leitor acerca desse assunto, possibilitando assim uma compreensão mais clara do esquema proposto por esse trabalho, no próximo capítulo.

Este capítulo está dividido em duas partes. Na primeira parte os mecanismos de disseminação de múltiplos saltos serão abordados. Na segunda parte, os mecanismos de disseminação de único salto serão apresentados.

A principal vantagem dos mecanismos de disseminação em *broadcast* é que o veículo não precisa conhecer o endereço e o caminho para um destino específico. Isso elimina a complexidade da descoberta de rotas, da resolução de endereços e da gerência da topologia, as quais são dificuldades impostas pela natureza dinâmica de redes como as VANETs [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012]. Ainda segundo esses autores, existem diversos mecanismos de disseminação em *broadcast* para VANETs relacionados na literatura, entretanto, os mecanismos podem ser classificados de uma forma geral em duas categorias principais: *Multi-hop*

broadcasting (difusão por múltiplos saltos) e *Single-hop broadcasting* (difusão de único salto).

Na difusão de múltiplos saltos, a informação se propaga através da rede utilizando um modo conhecido como inundação. A ideia é bastante simples, após um veículo transmitir sua informação para os veículos vizinhos, esses veículos vizinhos irão retransmitir essa informação para os seus vizinhos, e assim por diante. Dessa forma, a informação irá se propagar do veículo fonte até todos os outros veículos.

Já na difusão de único salto, os veículos não inundam toda a rede com retransmissões, como acontece na difusão de múltiplos saltos. Ao invés disso, ao receber uma ou mais informações os veículos irão armazená-las localmente e aguardar até o seu próximo ciclo de difusão, para então retransmiti-las. Sendo assim, a propagação das informações na rede está diretamente ligada à mobilidade dos veículos.

Podemos perceber que, em ambas as categorias, problemas como o da tempestade de *broadcast* na difusão de múltiplos saltos e do intervalo de tempo mais adequado para disseminar uma informação na de único salto, os quais serão discutidos mais adiante nesse capítulo, precisam ser resolvidos. A Figura 4.1 mostra uma taxonomia dos mecanismos de disseminação em *broadcast* e suas respectivas abordagens.

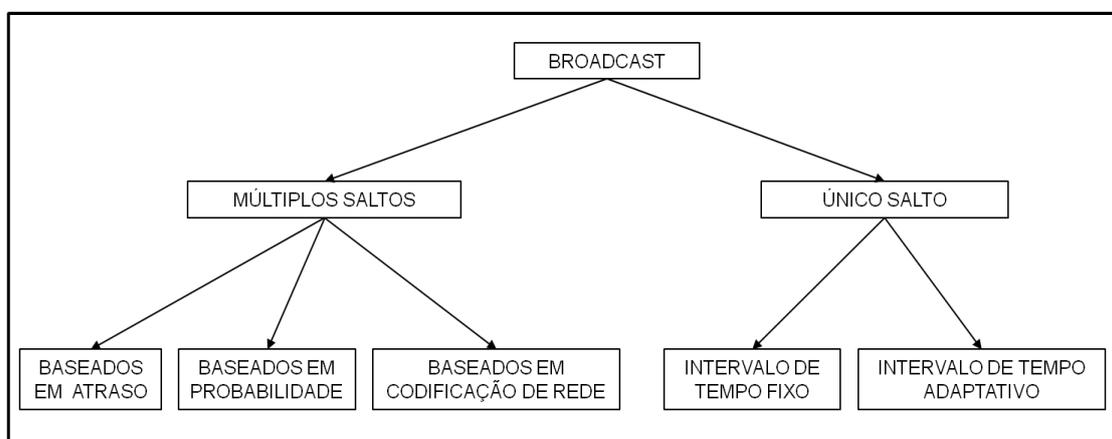


Figura 4.1 – Taxonomia dos mecanismos de disseminação em broadcast

4.1 Difusão de Múltiplos Saltos

Um dos principais problemas na difusão por múltiplos saltos é conhecido como tempestade de *broadcast* (*broadcast storm*) [Ni et al. 1999]. Por causa do seu modo básico de funcionamento, a inundação, na qual cada veículo simplesmente retransmite a informação, quando aplicada em redes densas fará com que diversos veículos retransmitam informações ao mesmo tempo, aumentando assim as colisões de mensagens que já são comuns em redes sem fio. Isso gera outro problema, a degradação do canal de comunicação. Quanto mais veículos fizerem parte dessa rede, maior será a quantidade de colisões e pior se tornará a comunicação. A seguir são descritas, sucintamente, algumas soluções propostas para reduzir a quantidade de mensagens redundantes sendo retransmitidas.

4.1.1 Difusão de Múltiplos Saltos Baseada em Atrasos

Nessa abordagem, um tempo de espera é atribuído ao ciclo de disseminação de cada veículo que recebeu a informação a ser retransmitida. Veículos com tempos de espera menores serão os primeiros a retransmitir a informação. Para diminuir o problema da redundância de informações, os veículos que ainda estiverem no processo de espera e receberem a mesma informação que estão prestes a disseminar, cancelarão sua retransmissão.

Geralmente o atraso atribuído a cada veículo se dá em função da distância física entre o veículo e o transmissor [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012]. Isto é, quanto mais distante um veículo estiver do veículo que transmitiu a mensagem, menor será o tempo de espera atribuído ao mesmo. O intuito é fazer com que o processo de disseminação ocorra o mais rápido possível para áreas mais distantes possíveis, pois ao eleger os veículos mais distantes, dentro do raio de alcance do veículo transmissor, como prováveis retransmissores da informação, esta iria se propagar rapidamente.

4.1.2 Difusão de Múltiplos Saltos Baseada em Probabilidade de Retransmissão

Nesse tipo de abordagem, diferentes probabilidades de retransmitir a informação são atribuídas a cada veículo. Assim como na abordagem baseada em atrasos, a redução alcançada na quantidade de mensagens redundantes se deve ao fato de que nem todos os veículos retransmitirão a informação.

Diversas são as formas de se atribuir a probabilidade de retransmissão, indo desde as que usam valores fixos pré estabelecidos, até as que se adaptam dinamicamente a fatores como localização do veículo e densidade da rede [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012].

4.1.3 Difusão de Múltiplos Saltos Baseada na Codificação de Rede

O conceito principal por trás dessa abordagem é diminuir a quantidade de mensagens trafegando na rede, através da combinação de informações de forma que a quantidade de troca de mensagens, necessárias para concluir um processo de transmissão, seja reduzida, tornando a utilização da largura de banda mais eficiente [Katti et al. 2008].

Para explicar melhor esse conceito, primeiro vamos descrever como a maneira tradicional de transmissão de dados funciona. Tomemos como exemplo um cenário onde dois nós (1 e 2), que estejam fora do raio de alcance um do outro, porém conectados através de um nó intermediário, queiram trocar informações entre si. Se o Nó 1 enviar uma mensagem A para o Nó 2, esta mensagem terá que passar primeiro pelo Nó intermediário, para então ser retransmitida até o seu destino. Para o processo inverso, por exemplo, uma mensagem B do Nó 2 para o Nó 1, o mesmo ocorreria. Se levarmos em consideração a quantidade de transmissões necessárias para essas duas trocas de informações, chegamos a um total de quatro. A ideia básica por trás da abordagem que utiliza a codificação de rede seria fazer com que o Nó intermediário, ao receber as informações A e B dos Nós 1 e 2, destinadas um ao outro,

codifique essas informações combinando-as de tal forma que permita apenas uma retransmissão para o seu destino. Após receberem a retransmissão, os Nós 1 e 2 decodificariam a mensagem codificada, $Cod(A,B)$, extraindo apenas a informação destinada a cada um deles. Dessa forma, a quantidade necessária de transmissões para concluir o mesmo processo, exemplificado anteriormente, seria de apenas três. A Figura 4.2 busca ilustrar melhor esse exemplo.

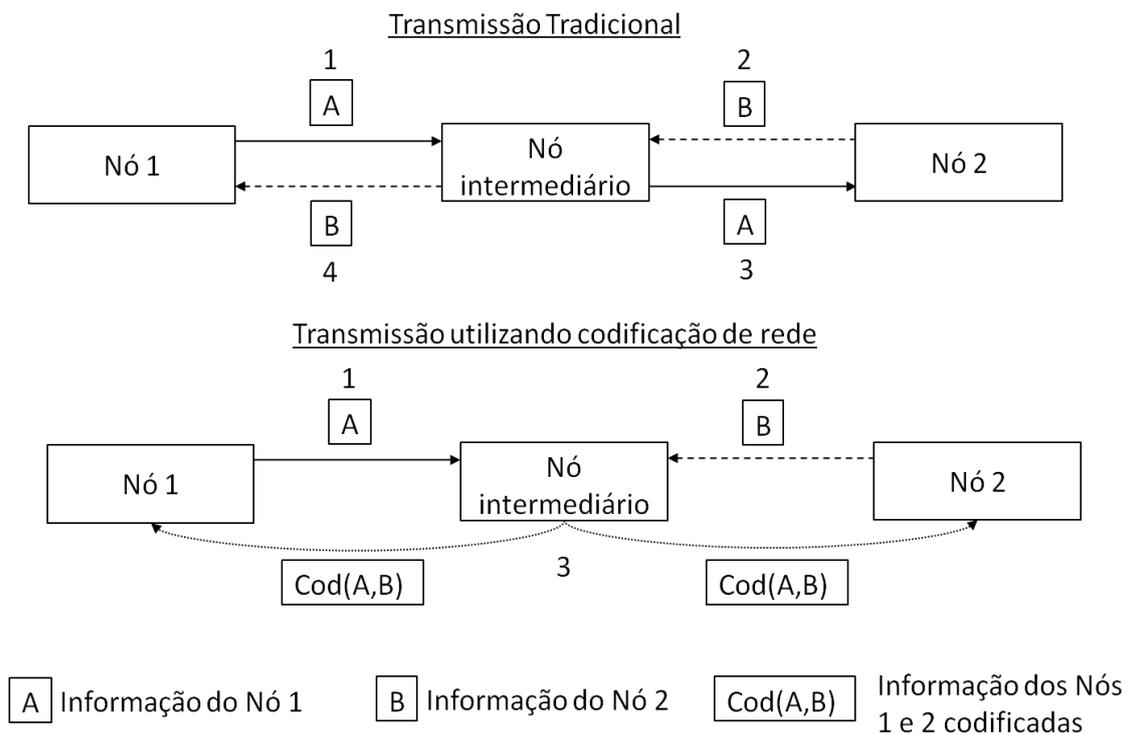


Figura 4.2 – Comparação entre a transmissão tradicional e a transmissão utilizando codificação de rede

Finalizando, embora existam diversos trabalhos que investigam como aplicar o conceito de codificação de rede em MANETs, não existem muitos mecanismos que utilizem a difusão de múltiplos saltos baseada na codificação de rede projetados especificamente para VANETs [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012].

4.2 Difusão de Único Salto

Segundo [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012], na difusão de único salto o problema da tempestade de *broadcast*, mencionado anteriormente, não ocorre. Isso se deve ao fato dos veículos, ao utilizarem a difusão de único salto, não retransmitirem a informação imediatamente. Ao invés disso, os veículos armazenam essa informação localmente, juntamente com outras informações já recebidas, e periodicamente disseminam parte dessas informações armazenadas para os demais veículos na rede.

Nesse tipo de disseminação o intervalo de disseminação e a seleção de qual informação armazenada deve ser disseminada são questões que podem ser levadas em consideração, com o intuito de se obter uma baixa redundância e ao mesmo tempo manter a informação mais atual possível. Apresentaremos a seguir algumas soluções propostas para essas questões.

4.2.1 Difusão de Único Salto com Intervalo Fixo

Essa abordagem utiliza sempre o mesmo intervalo de tempo para o seu ciclo de disseminação. A questão principal a ser tratada recai somente na seleção da informação mais relevante a ser disseminada. Isso porque, de uma forma geral, a quantidade de informações armazenadas localmente em um veículo é grande, logo, não podem ser transmitidas em uma única mensagem.

Algumas propostas, como [Zhong et al. 2008], utilizam algoritmos de seleção baseados na relevância da informação a ser disseminada, geralmente levando em consideração relações espaço temporais, como a localização do veículo em um determinado momento. Já outras propostas, como [Rohling and Busche 2009], diminuem a quantidade de informações armazenadas através da utilização de mecanismos de agregação de dados que correlacionam informações semelhantes, como por exemplo informações de tráfego de uma mesma área, em uma única informação resumida. Entretanto, conforme já mencionado anteriormente, nem todos

os tipos de aplicações permitem a utilização de informações resumidas para o seu funcionamento.

4.2.2 Difusão de Único Salto com Intervalo Adaptativo

Essa outra abordagem, além da questão da seleção, preocupa-se em ajustar, de forma adaptativa, o intervalo de tempo do seu ciclo de disseminação. Essa adaptação se faz necessária, uma vez que em cenários com muitos veículos, em uma mesma região, o número de colisões de mensagens e a quantidade de mensagens redundantes podem aumentar significativamente [Panichpapiboon and Pattara-Atikom 2012].

Adaptar-se à quantidade de colisões que ocorre na rede [Fujiki et al. 2007] ou a velocidade em que um determinado veículo se encontra [Yu and Heijenk 2008] são algumas das propostas de parâmetros a serem considerados para ajustar o intervalo de disseminação. Na primeira, a medida que um veículo detecta que a quantidade de colisões na rede está aumentado, seu intervalo de tempo de disseminação também irá aumentar, diminuindo assim a quantidade de mensagens geradas e, conseqüentemente, as colisões e a redundância. Na segunda, quanto menor for a velocidade de um veículo maior será o tempo de espera para a próxima disseminação se iniciar. Nesse caso, a diminuição das colisões e das mensagens redundantes ocorreria porque, geralmente, veículos lentos encontram-se em situação de congestionamento, onde diversos veículos estariam em uma mesma região, compartilhando o mesmo canal de comunicação sem fio.

Finalizando este capítulo, a Tabela 4.1 sumariza as características acerca das difusões de múltiplos saltos e de único salto, relacionando suas principais vantagens e desvantagens.

Tabela 4.1 – Características das difusões de múltiplos saltos e de único salto

Tipo de Difusão	Características	Vantagens	Desvantagens
Único salto	A informação é disseminada através de disseminações periódicas	Adequada para aplicações que necessitem de persistência de informações	A disseminação da informação pode ser lenta
	Reduz a redundância através do ajuste no período de disseminação		Não é adequada para aplicações que são sensíveis ao atraso
	A propagação da informação depende da mobilidade dos nós	O problema de tempestade de <i>broadcast</i> não ocorre	Pode requerer muito espaço de armazenamento para manter a informação não disseminada
Múltiplos saltos	A informação é disseminada através de mecanismos que utilizam inundação controlada	A informação é disseminada rapidamente	Necessita de algoritmos que lidem com o problema da tempestade de <i>broadcast</i>
	A redução da redundância é obtida através do ajuste na probabilidade ou no atraso da disseminação	Adequado para aplicações como alertas de segurança ou de emergência Não necessita de muito espaço de armazenamento para manter as informações não disseminadas	Normalmente não se preocupa com a persistência das informações

No próximo capítulo, um esquema de agregação de dados, para um sistema de informações de tráfego em VANETs urbanas, que é a maior contribuição desse trabalho, é explicado em detalhes.

5 Esquema de Agregação Proposto

Neste capítulo é apresentado o esquema de agregação de dados, chamado de INATIS (In Network Aggregation for Traffic Information System), proposto por esse trabalho, que utiliza a segmentação das vias urbanas baseada em interseções (cruzamentos ou junções de vias). A ideia é que, ao levar em consideração algumas das características presentes nos cenários urbanos, no seu funcionamento, o esquema sirva como base para aplicações como os sistemas de informações de tráfego para VANETs urbanas. Assim, serão detalhadas as características do esquema proposto, assim como o funcionamento dos seus principais componentes.

O capítulo está organizado em duas partes. Na primeira, a ideia da segmentação baseada em interseções é apresentada, discutindo seus pontos positivos e negativos. Na segunda parte, é realizado um detalhamento do esquema de agregação proposto, especificando seus principais componentes.

5.1 Segmentação Baseada em Interseções

Segundo [Heijden et al. 2013], um esquema de agregação de dados para VANETs também deve levar em consideração a seleção da área sobre a qual a informação agregada será calculada.

Conforme apresentado no Capítulo 3, as propostas utilizam abordagens com estruturas fixas (segmentos e *clusters*) ou livres de estruturas para essa seleção. Ambas apresentam algum problema, mesmo sendo avaliadas em cenários mais

simples, como os de rodovia. Nas de estruturas fixas, o principal problema foi em relação à representação da situação real do tráfego ser imprecisa, devido ao tamanho dos segmentos. Já nas livres de estrutura, embora a precisão ao se representar a realidade tenha aumentado, o funcionamento do esquema, além de uma demanda maior por recursos, fez com que o tempo para que um determinado veículo tomasse conhecimento do tráfego de toda a rede fosse maior do que nos esquemas com algum tipo de segmentação [Dietzel et al. 2009a].

Podemos perceber que, para cenários urbanos, outra abordagem se faz necessária, uma vez que a segmentação em segmentos de tamanho fixo agravaria o problema da representação da realidade, ao fazer com que informações de diferentes vias, menores que o tamanho pré-estabelecido pela segmentação fixa, fossem agregadas juntas. O contrário também aconteceria, como nos casos em que a segmentação fosse menor que o tamanho da via, fazendo com que informações de uma mesma estrada fossem agregadas separadamente.

Segundo [Kong and Tan 2008], quando os carros estão se movendo ao longo de uma via (rua ou avenida), sua velocidade tende a variar conforme sua localização, e esse padrão de variação está diretamente relacionado com o padrão da via. Isso porque a velocidade de um veículo em um determinado segmento da via é afetada pelas características desse segmento tais como semáforos, sinais de trânsito e número de faixas. Por outro lado, cada segmento tem seu próprio padrão e condições de trânsito, fazendo com que o mapa de tráfego possa ser caracterizado por uma segmentação baseada em interseções, conforme mostrado na Figura 5.1.

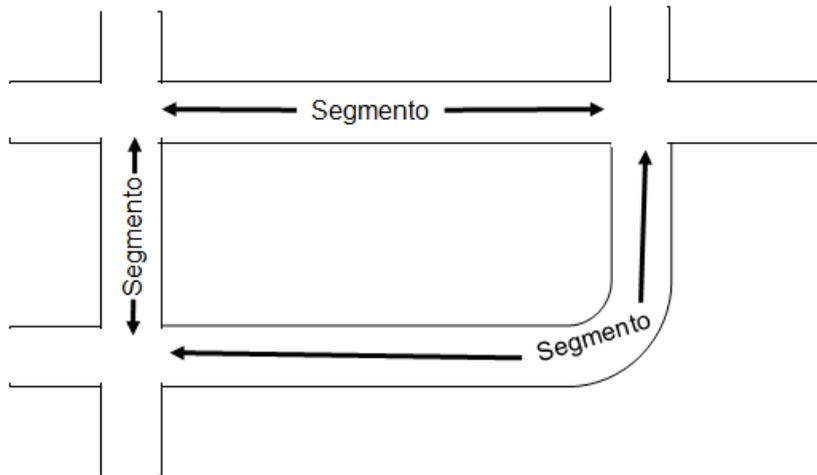


Figura 5.1 – Segmentação baseada em interseções

Sendo assim, em cenários urbanos, a divisão das vias em segmentos pode ser feita levando-se em consideração duas interseções vizinhas [Kong and Tan 2008]. Logo, essa abordagem contornaria o problema da segmentação em tamanho fixo, uma vez que o tamanho do segmento iria variar de acordo com o tamanho da via.

Com relação à abordagem livre de estrutura, a não indicação do seu uso em cenários urbanos se dá pelo fato de que seu único benefício, uma representação mais próxima da realidade, não compensaria seus pontos negativos, que são o atraso da propagação da informação e a sobrecarga na comunicação. Primeiramente, porque o tamanho das vias em cenários urbanos são menores que as rodovias, diminuindo a probabilidade de uma representação muito distante da realidade. Segundo, porque é mais útil a informação a respeito de uma determinada via (rua ou avenida), delimitada por duas interseções, do que de um ponto específico dessa via, pois no caso de um congestionamento, a rota que utilize esse segmento da via como caminho deverá ser evitada, pois uma vez nele não haveria como sair.

5.2 Esquema Proposto

O esquema de agregação proposto se baseia em uma proposta de um sistema de informações de tráfego para VANETs chamado SOTIS [Rohling and Busche 2009], que utiliza agregação intrarrede e segmenta a via em segmentos de tamanho fixo, além de disseminar as informações através de um mecanismo que utiliza difusão de único salto, com intervalo de tempo fixo. O esquema SOTIS foi descrito no Capítulo 3.

Como os cenários urbanos são o foco do esquema de agregação INATIS, a abordagem da segmentação das estradas baseada em interseções, proposto por [Kong and Tan 2008], será utilizada para selecionar a área sobre a qual o agregado será calculado. Logo, o esquema funcionará agregando dados que pertençam a um mesmo segmento. Para isso, assume-se que os veículos terão disponível um sistema de localização do tipo GPS e um mapa digital para encontrar os delimitadores de segmentos, e uma unidade de comunicação baseada no padrão IEEE 802.11p, específico para redes veiculares.

Antes de continuar com a descrição do esquema de agregação INATIS, é importante enfatizar que a principal diferença do esquema proposto nesse trabalho em relação à proposta de [Kong and Tan 2008] é justamente introduzir um mecanismo de agregação de dados intrarrede, com o intuito de prover a escalabilidade de veículos na rede e ao mesmo tempo remover a necessidade do uso de qualquer tipo de infraestrutura. A proposta de [Kong and Tan 2008] recai na utilização de um híbrido de redes de sensores e VANETs, utilizando-se de infraestruturas representadas pelas unidades de acostamento (RSUs), para compartilhar informações a respeito das condições do tráfego em cada segmento, porém, sem utilizar nenhum mecanismo de agregação de dados.

Além disso, para contornar os problemas referentes à disseminação utilizando difusão de único salto com tempo fixo, o esquema de agregação INATIS irá disseminar as informações através da difusão de único salto com tempo adaptativo. Para isso, a

topologia dos cenários urbanos será levada em consideração. Em tais cenários, a localização mais indicada, onde tem-se uma maior probabilidade da informação ser recebida por uma quantidade maior de veículos, são as interseções. Nelas, as informações se espalharão por mais direções, uma vez que existirão menos obstáculos impedindo o sinal de rádio de se propagar. A Figura 5.2 ilustra esse cenário. O veículo B recebe apenas a mensagem de A, pois os obstáculos impedem que a mensagem de C chegue até ele.

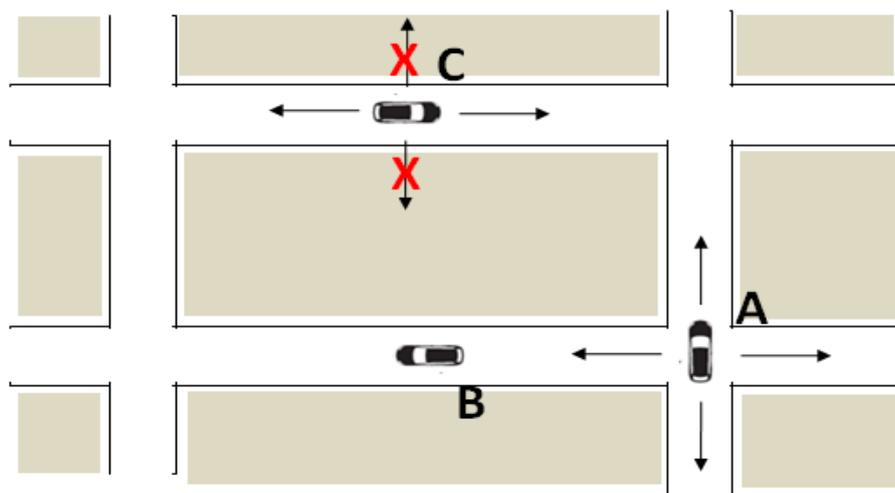


Figura 5.2 – Diferença entre disseminação em uma interseção e no meio de um segmento

Portanto, foi adaptada a proposta de disseminação feita em [Fogue et al. 2012] para suportar a persistência de dados. Essa proposta utiliza a localização das interseções nas vias, obtida através de um mapa digital, para melhorar o desempenho da disseminação por difusão de múltiplos saltos em cenários urbanos. Conforme visto no Capítulo 4, a difusão por múltiplos saltos não se preocupa com a persistência de dados⁵, a qual é uma propriedade essencial para o funcionamento do esquema de agregação INATIS.

⁵ Armazenamento local das mensagens recebidas de um ou mais veículos para posterior disseminação [Panichpapiboon and Pattara-Atokom 2012].

Entre as questões levantadas anteriormente para a disseminação por difusão de único salto de tempo adaptativo, está o processo de seleção das informações relevantes a serem disseminadas, pois a quantidade de informações armazenadas localmente pelo veículo pode ultrapassar a quantidade de informações que cabem em uma mensagem a ser disseminada. Para tratar essa questão, o esquema de agregação INATIS utilizará um armazenamento local que comporte, no máximo, a mesma quantidade possível de informações de uma mensagem. Isso simplifica a disseminação, pois elimina o processo de seleção, já que toda a base local do veículo será disseminada. A ideia é fazer com que as informações mais próximas, portanto mais relevantes, e atuais sobre as condições do tráfego fiquem disponíveis. Conforme já citado, os detalhes do funcionamento do componente de disseminação e dos demais componentes do esquema proposto serão abordados mais à frente nesse Capítulo.

As informações necessárias para o funcionamento do esquema de agregação INATIS são as seguintes:

- Número de identificação única do segmento (**Sid**);
- Direção seguida pelo veículo (**D**);
- Velocidade média no segmento (**μ**);
- Tempo do instante da geração da informação a ser enviada (**t**).

O esquema disseminará um vetor de N registros, que serão formados pelas quatro informações descritas acima. Como cada registro necessita de 14 bytes para ser formado, conforme mostrado na Figura 5.3, uma mensagem transmitida por um determinado veículo poderia conter um vetor com no máximo 165 registros com informações correspondentes a segmentos distintos, o que totalizaria 2310 Bytes. Conforme citado anteriormente, a ideia é manter a base de conhecimento local de cada veículo com um armazenamento limitado à quantidade de informações que uma mensagem poderia transmitir, portanto esse valor não ultrapassaria o tamanho

máximo permitido no campo de carga útil da subcamada de controle de acesso ao meio (*medium access control* – MAC) do padrão IEEE 802.11p, que é de 2312 bytes.

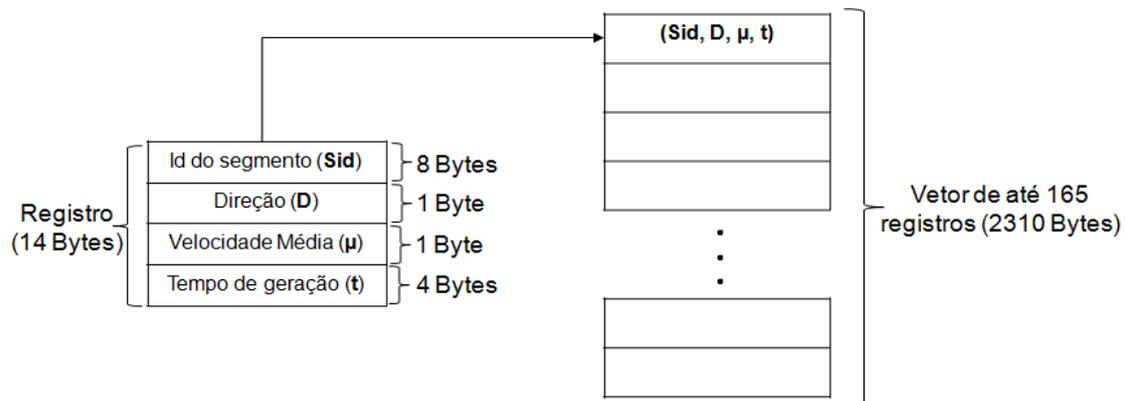


Figura 5.3 – Mensagem disseminada pelo esquema de agregação INATIS

Com o intuito de contemplar as vias bidirecionais, presentes nos cenários urbanos, cada registro, dentro do vetor, será identificado unicamente através dos campos **Sid** e **D**.

A velocidade média no segmento será obtida pelos sensores do próprio veículo ou recebida de outro veículo, nesse caso podendo estar agregada ou não, que tenha trafegado pelo segmento.

Finalizando, a arquitetura básica do esquema proposto que funcionará em cada veículo é mostrada na Figura 5.4. A descrição detalhada do funcionamento de cada um dos três componentes principais da arquitetura do esquema proposto, bem como da base de conhecimento, é feita seguir.

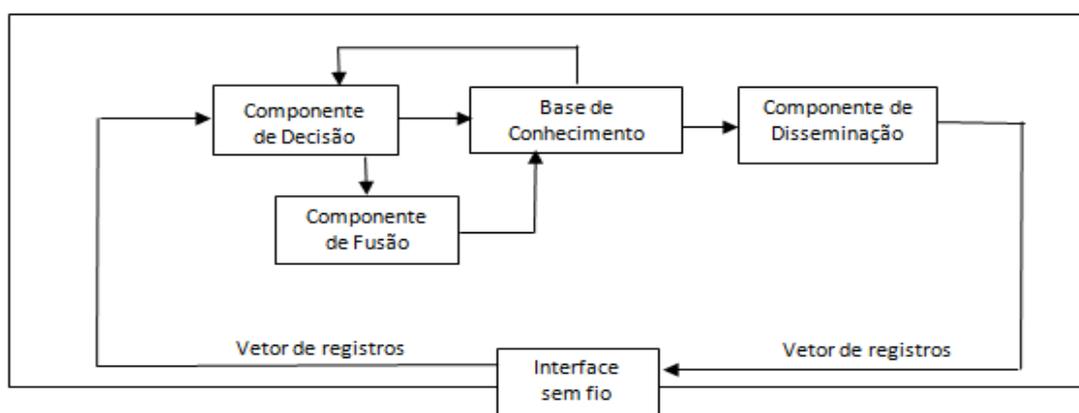


Figura 5.4 – Arquitetura básica do esquema de agregação INATIS

5.2.1 Componente de Decisão

Esse é o componente responsável por decidir se os dados recebidos pelo veículo podem ser agregados com algum outro dado já pertencente a esse mesmo veículo. O Algoritmo 5.1 descreve como ocorre esse processo. A operação desse componente é dividida da seguinte forma:

- **Passo 1:** Toda vez que uma mensagem é recebida por um veículo, os registros contidos no vetor dessa mensagem são comparados com os registros armazenados na sua base de conhecimento local.
- **Passo 2:** Caso a identificação única do registro (**Sid + D**) não exista na base de dados, este será adicionado. Caso contrário, verifica-se o tempo de geração (**t**).
- **Passo 3:** Caso o tempo de geração (**t**) do registro recebido seja mais recente (maior) do que o tempo de geração (**t**) do registro armazenado, então o módulo da diferença entre a velocidade média (**μ**) do registro recebido com a do registro armazenado é verificado. Se o módulo da diferença for menor que um limite pré-estabelecido, o registro é agregado, senão o registro recebido substitui o registro armazenado fazendo com que as oscilações de velocidade não gerem agregados com informações muito distantes da situação real do tráfego. Caso o tempo de geração (**t**) do registro recebido não seja mais recente do que o contido na base de conhecimento local do veículo, mantém-se o registro da base de conhecimento até ele expirar ou ser atualizado.

```

Parâmetros de Entrada: Vetor_registros [X]
for (cada_registro_do_vetor) do
  for (cada_registro_da_base_de_conhecimento) do
    if (registro_do_vetor[i] == registro_da_base_de_conhecimento[j]) then           /*Passo 1*/
      if (registro_do_vetor[i].t > registro_da_base_de_conhecimento[j].t) then     /*Passo 2*/
        if (|registro_do_vetor[i].u - registro_da_base_de_conhecimento[j].u| < limite) then /*Passo 3*/
          fusão (registro_do_vetor[i], registro_da_base_de_conhecimento[j])       /*Passo 3*/
        else
          substituir_na_base_de_conhecimento[j] (registro_do_vetor[i])           /*Passo 3*/
        end
      end
    end
  else
    if (fim_da_base_de_conhecimento) then
      incluir_na_base_de_conhecimento (registro_do_vetor[i])                     /*Passo 2*/
    end
  end
end
end
end

```

Algoritmo 5.1 – Algoritmo do componente de decisão do esquema proposto

5.2.2 Componente de Fusão

Esse componente é responsável por efetivamente agregar os dados, caso a decisão seja positiva. Basicamente, o registro é atualizado da seguinte maneira:

- **Passo 1:** A nova velocidade média (μ) de um registro será obtida através da média aritmética da velocidade armazenada na base de conhecimento local do veículo com a velocidade contida no registro recebido de outro veículo, para um dado segmento e direção.
- **Passo 2:** O tempo de geração (t) do registro recebido substitui o tempo de geração armazenado na base de conhecimento local do veículo, atualizando o tempo no qual aquele registro foi gerado.

5.2.3 Componente de Disseminação

Esse componente é responsável por realizar a disseminação da informação contida na base de dados local do veículo para os seus vizinhos diretos. O Algoritmo 5.2 detalha o funcionamento desse componente. A disseminação ocorre da seguinte maneira:

- **Passo 1:** Um *timer*, de tempo *t*, é iniciado em todo veículo executando o esquema. Tão logo esse *timer* expire, o veículo dissemina uma mensagem com as informações contidas na sua base de conhecimento e reinicia o *timer*.
- **Passo 2:** Caso o veículo alcance um cruzamento, ou receba uma informação que não estava presente na sua base de conhecimento, antes do *timer* expirar, o veículo disseminará a informação contida na sua base de conhecimento imediatamente e o *timer* será reiniciado.

```

Parâmetros de Entrada: Localização
Parâmetros de Saída: Vetor_registros [X]
timer = t                                     /*Passo 1*/
if (timer != 0) then                         /*Passo 1*/
  if (Localização == interseção) then        /*Passo 2*/
    enviar (Vetor_registros[X])               /*Passo 2*/
    timer = t                                  /*Passo 2*/
  else
    if (base_de_conhecimento contém um novo registro) then /*Passo 2*/
      enviar (Vetor_registros[X])             /*Passo 2*/
      timer = t                                /*Passo 2*/
    end
  end
else
  enviar (Vetor_registros[X])                 /*Passo 2*/
  timer = t                                    /*Passo 2*/
end

```

Algoritmo 5.2 – Algoritmo do componente de disseminação

5.2.4 Base de conhecimento local do veículo

Conforme citado anteriormente neste Capítulo, a base de conhecimento do esquema de agregação INATIS possui um tamanho limitado pela quantidade de informações que podem ser disseminadas em uma única mensagem. Com isso, existe a necessidade de se controlar o uso dessa base, de forma a manter sempre espaço disponível para o armazenamento de novos registros.

A estratégia adotada pelo INATIS é a seguinte: toda vez que a capacidade de armazenamento alcançar um limite de 95%, os registros mais antigos serão excluídos da base de conhecimento, até o valor de 90% da capacidade total ser atingida.

Como último adendo, embora o INATIS possua um armazenamento limitado em sua base de conhecimento, nada impede que aplicações que necessitem disponibilizar informações acerca de regiões maiores, utilizem-se de mecanismos complementares, como por exemplo uma base de dados auxiliar, gerenciando-a de maneira a suportar os requisitos dessas aplicações. Ratificando, a ideia principal por trás do INATIS é que ele também sirva como base para outras aplicações relacionadas aos sistemas de informações de tráfego, como por exemplo, as de tempo estimado de viagem ou de detecção de congestionamentos.

Finalizando, a Figura 5.5 apresenta um fluxograma do esquema de agregação INATIS, dando uma visão geral do seu funcionamento.

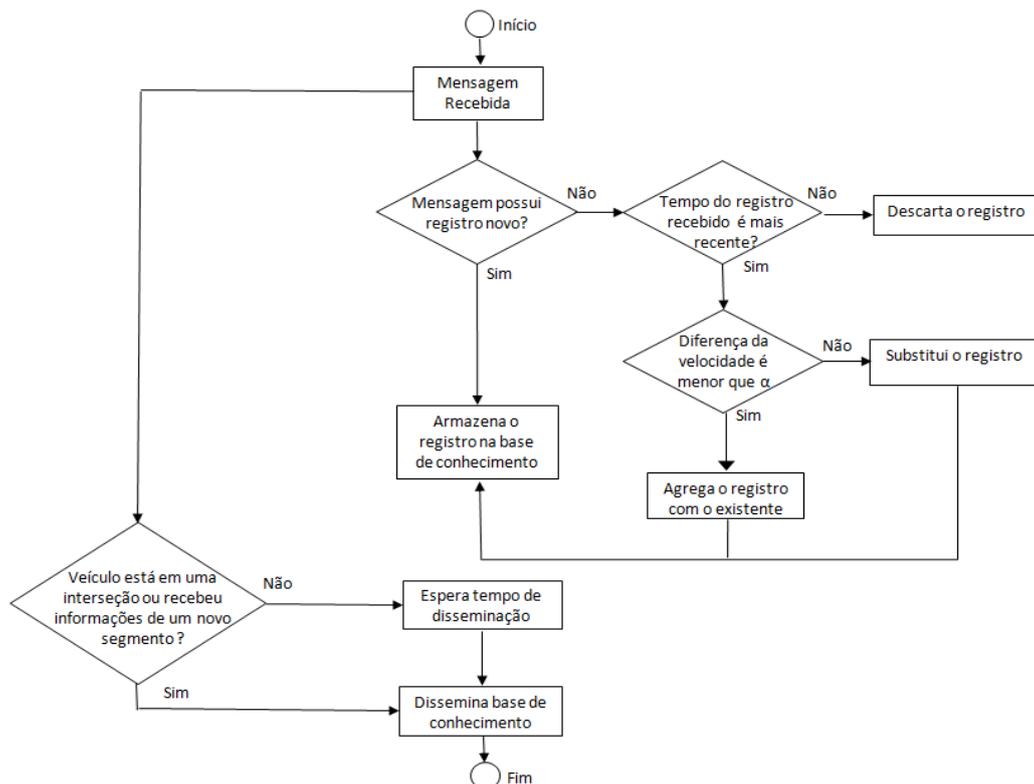


Figura 5.5 – Fluxograma de funcionamento do esquema de agregação INATIS

De maneira resumida, logo após receber novas mensagens, o esquema executa uma verificação de cada registro. Para todo registro que possua informações acerca de um segmento já armazenado na base de conhecimento local do veículo,

estes serão verificados quanto à possibilidade de se efetuar a agregação, com base no tempo de geração e na diferença da velocidade. Caso não possa ser agregado, o registro substitui o existente. Se o registro contiver informações de um segmento que não esteja armazenado na sua base de conhecimento, este é somente armazenado.

Ao mesmo tempo, o processo de disseminação verifica, a todo instante, a existência de informações de novos segmentos ou se o veículo encontra-se em uma interseção. Caso uma das duas condições seja verdadeira, ele dissemina o conteúdo da sua base de conhecimento para todos os veículos ao alcance do seu raio de transmissão, caso contrário, aguarda o tempo de disseminação estabelecido pelo *timer*.

No decorrer desse capítulo foi apresentado o esquema de agregação INATIS. Foram abordados como ele utiliza a segmentação das vias de trânsito baseada em interseções no seu componente de decisão, assim como a topologia dos cenários urbanos é utilizada no componente de disseminação. Além disso, foi explicado como a base de conhecimento local dos veículos mantém disponíveis as informações mais atuais. No próximo capítulo, será abordada a avaliação de desempenho do esquema de agregação INATIS, utilizando cenários urbanos realísticos.

6 Análise de Desempenho

Depois que os principais conceitos a respeito desse trabalho foram apresentados, em especial os do novo esquema de agregação INATIS, nesse capítulo serão apresentadas as simulações realizadas e os resultados obtidos sobre a avaliação de desempenho do esquema proposto. Os cenários utilizados para essas avaliações são descritos em detalhes nas seções seguintes, assim como os parâmetros utilizados nas simulações.

Segundo [Fogue et al. 2013], as novas tecnologias e arquiteturas, propostas para VANETs, são avaliadas através de simulações devido ao custo e a complexidade da implantação desse tipo de rede em um cenário real. Entretanto, a maioria das simulações realizadas para a avaliação dessas propostas desconsidera muitos fatores importantes, como por exemplo, o modelo de propagação de rádio utilizado, a quantidade de veículos ou as características do cenário escolhido. Portanto, para tornar a análise e, conseqüentemente, a contribuição dessa pesquisa mais relevantes, esses fatores serão levados em consideração.

Este capítulo está dividido em cinco partes. Na primeira e na segunda parte são apresentadas as características das simulações e as métricas utilizadas para a análise do desempenho e da qualidade do esquema proposto. Na terceira, quarta e quinta partes são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas simulações utilizando diferentes cenários urbanos, extraídos de mapas reais das cidades de Nova Iorque e Roma.

6.1 Cenários de Simulação

O estudo realizado por [Fogue et al. 2013] apontou os seguintes fatores, que afetam a entrega de mensagens em VANETs, como mais significativos:

- Modelo de propagação de rádio escolhido;
- Densidade de veículos;
- Mapa real de rodovias ou áreas urbanas;

Dentre os fatores listados, o modelo de propagação de rádio merece atenção especial, uma vez que os simuladores mais usados na experimentação de VANETs não incluem um modelo de propagação que ofereça precisão para ambientes veiculares. Em particular, a atenuação do sinal de rádio causada pelos obstáculos físicos presentes em cenários urbanos (em sua maioria edifícios), não é considerado, levando a resultados mais otimistas, pois a conectividade acaba sendo maior do que seria, facilitando a troca de dados.

Para considerar o fator relacionado aos mapas utilizados, dois cenários com características distintas foram obtidos através da ferramenta *Citymob for Roadmaps* (C4R) [Fogue et al. 2012a], que integra o gerador de mobilidade SUMO [SUMO 2014]. Os cenários, mostrados nas Figuras 6.1 e 6.2, foram definidos de forma a representar cenários urbanos, com cruzamentos, semáforos e vias bidirecionais. Eles foram extraídos da base *Open Street Map* (OSM) [OSM 2014]. O cenário da Figura 6.1 representa um trecho da ilha de Manhattan, na cidade de Nova Iorque (EUA), e o cenário da Figura 6.2 representa um trecho da cidade de Roma, na Itália. Ambos possuem dimensões de 1.000 m. x 1.000 m., aproximadamente.

Conforme podemos observar, o trecho de Manhattan apresenta longas vias, arranjadas em um estilo de grade, enquanto que o trecho de Roma apresenta o cenário oposto, com vias mais curtas e um *layout* bastante irregular, tornando a troca de dados uma tarefa mais complexa [Fogue et al. 2013].

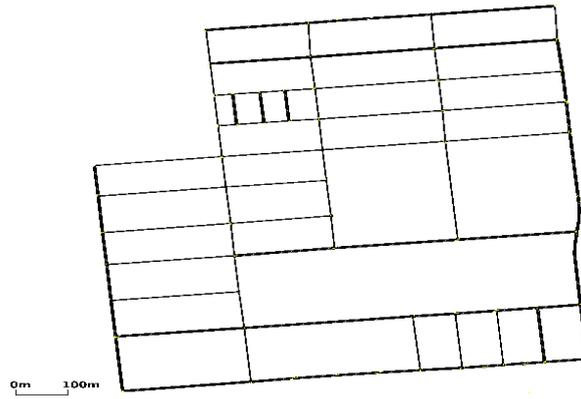


Figura 6.1 – Mapa do trecho de Manhattan utilizado nas simulações

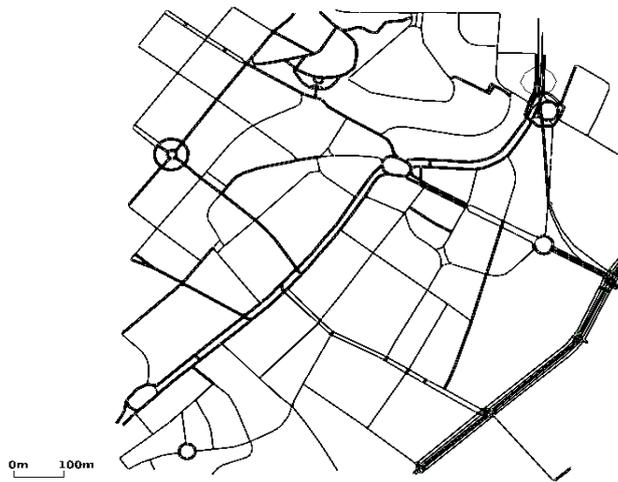


Figura 6.2 – Mapa do trecho de Roma utilizado nas simulações

O modelo de mobilidade que foi utilizado para gerar a movimentação dos veículos nos cenários mostrados anteriormente foi o *Krauss mobility model* [Krajzewicz et al. 2002], que considera características como estradas com múltiplas faixas, troca de faixa, movimento dos veículos livre de colisões (acidentes), interseções com regras de passagem e semáforos. A ideia é obter uma movimentação mais próxima possível da realidade. Outro parâmetro configurado na ferramenta C4R foi a velocidade máxima utilizada pelos veículos, igual a 20 m/s ou 72 km/h [Cruz 2012].

Após a descrição dos cenários físicos e suas respectivas características de mobilidade, para considerar o fator da propagação do sinal de rádio e também avaliar

o comportamento do esquema de agregação proposto, foi utilizado o simulador NCTUns (*National Chiao Tung University Network Simulator*), versão 6.0 [Wang and Chou 2009]. Ele permite simular a atenuação ou o bloqueio da propagação do sinal de rádio através da inserção de obstáculos físicos. O modelo de propagação utilizado foi o *Two Ray Ground* [Rappaport 1996], porém, embora ele não considere as características dos cenários urbanos, a inserção de obstáculos foi realizada com o intuito de tornar o ambiente de simulação dos cenários mais realista.

Os demais parâmetros, configurados no simulador em relação à camada de acesso ao meio e a camada física (MAC/PHY), foram os seguintes: (i) foi utilizada uma implementação do IEEE 802.11p; (ii) a largura de banda utilizada foi de 10 MHz, padrão do IEEE 802.11p, com uma taxa de transferência configurada em 6 Mbps, que é o valor máximo permitido pelo padrão 802.11p para transmissões em *broadcast* [Fogue et al. 2012b]; (iii) o raio de transmissão foi definido em 400 m de alcance, uma vez, que no estudo de campo realizado por [Martinez et al. 2010], esse foi o valor máximo obtido pelo padrão IEEE 802.11p em ambientes urbanos.

O último fator, relacionado à densidade da rede, foi obtido com a variação do número de veículos presente em todo cenário, sendo de 50, 100 e 150 veículos. O intuito foi o de avaliar o funcionamento da proposta em situações onde a rede está esparsa, como o caso do período inicial de implantação da tecnologia ou horários com pouco tráfego, até situações com a presença de um maior número de nós.

O esquema de agregação proposto foi comparado com um esquema que utiliza tempo de disseminação fixo, SOTIS [Rohling and Busche 2009], e outro utilizado para avaliar a proposta feita em CATCH-UP [Yu et al 2012], com tempo de disseminação de espera aleatória, chamado de *Random Wait* (RW). No esquema com disseminação de tempo fixo, foram feitas duas avaliações, uma com o tempo de disseminação configurado em 2 segundos, conforme a proposta original, e outro com tempo configurado em 1 segundo. O intuito da variação desse parâmetro para um valor

inferior foi o de verificar se, diminuindo o intervalo que um veículo leva para disseminar a informação, algum ganho de desempenho é obtido, mesmo com o aumento da quantidade de mensagens geradas pelo esquema. Já o esquema que utiliza espera aleatória foi configurado para sortear valores de 1 ou 2 segundos como intervalo de disseminação. O tempo utilizado para cada rodada de simulação foi definido em 120 segundos, como foi feito em [Dietzel et al. 2009a] e [Fogue et al. 2013].

Para efeito de configuração do *timer* de disseminação e do tempo de expiração do registro armazenado na base de conhecimento, foi ajustado o valor de 120 segundos. O *timer* de disseminação é o parâmetro que especifica o tempo do ciclo de disseminação do protocolo INATIS, caso o veículo não alcance uma interseção e não receba informações sobre um segmento ainda não armazenado na sua base de conhecimento local, durante um determinado período. Já o tempo de expiração do registro é o parâmetro que especifica por quanto tempo um registro permanecerá na base de conhecimento do veículo, caso não seja atualizado. Como o tempo de simulação foi de 120 segundos, ao configurarmos esses parâmetros com esse mesmo valor, nenhuma disseminação ocorrerá por *timeout* e nenhum registro contido na base de conhecimento dos veículos irá expirar. Essas escolhas se devem ao fato da análise de um valor mais adequado para esses parâmetros não ser contemplado por esse estudo.

Além do *timer* de disseminação e do tempo de expiração, outro parâmetro que foi configurado de modo a não interferir no desempenho dos esquemas avaliados foi o tamanho do *buffer* de recepção disponível em cada veículo. O valor desse parâmetro foi ajustado para infinito, dessa forma nenhuma mensagem recebida será perdida por motivo do *buffer* estar cheio.

Finalizando, foram realizadas 20 rodadas de simulação para cada cenário, variando a densidade da rede e o esquema de agregação utilizado. Os resultados

obtidos foram tratados estatisticamente, utilizando o intervalo de confiança de 95%. A Tabela 6.1 sumariza os parâmetros utilizados nas simulações.

Tabela 6.1 – Parâmetros utilizados nas simulações

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
MAC/PHY	IEEE 802.11p
Largura de banda	10 MHz
Taxa de transferência	6 Mbps
Raio de transmissão	400 metros
Modelo de propagação	Two Ray Ground
Cenários	Manhattan e Roma
Número de veículos	50, 100, 150
Tamanho dos mapas	1.000 m x 1.000 m
Modelo de mobilidade	Krauss Model
Velocidade	0 a 72 km/h
Esquemas de agregação	SOTIS (1 e 2 s), RW, INATIS
<i>Timer</i> de disseminação (INATIS)	120 segundos
Tempo de expiração do registro	120 segundos
Tamanho do <i>buffer</i>	Infinito
Tempo total da simulação	120 segundos

6.2 Métricas de Desempenho

Segundo [Dietzel et al. 2014], além de lidar com as restrições de largura de banda é igualmente importante que os esquemas de agregação garantam a utilidade dos dados após a agregação, também chamada de qualidade da informação, atendendo aos requisitos da aplicação. Logo, as métricas que avaliam a qualidade da informação não podem ser generalizadas, pois dependem dos requisitos específicos de uma aplicação. Sendo assim, os principais componentes presentes nos esquemas, a disseminação e a agregação (decisão+fusão), serão avaliados separadamente.

Para avaliar o componente de disseminação, as seguintes métricas serão utilizadas:

- **Taxa de notificação** - Mede a proporção de veículos que receberam alguma informação sobre um determinado segmento, em relação à quantidade de veículos no cenário considerando o tempo total de simulação. Essa métrica tem como objetivo prover uma medida de eficácia a respeito da habilidade do esquema em disseminar a informação sensoriada sobre um segmento. Ela é calculada através da Equação (1):

$$TN = \frac{VN_{(S)}}{QV} , \quad (1)$$

onde $VN_{(S)}$ é o número de veículos que receberam alguma informação sobre um determinado segmento (**S**) e **QV** é o número total de veículos no cenário.

- **Número de mensagens geradas** - mede o número total de mensagens geradas pelo esquema de agregação sendo executado nos veículos. Essa métrica tem como objetivo comparar o tráfego gerado em toda rede pelos esquemas avaliados, considerando o tempo total de simulação.
- **Tempo de notificação** - mede o tempo (em segundos), que a informação sobre um determinado segmento leva para ser recebida pelos veículos. O tempo considerado para um veículo ter sido notificado sobre um determinado segmento é o primeiro instante em que ele tenha recebido qualquer informação sobre esse segmento. Essa métrica tem como objetivo demonstrar a eficácia do mecanismo de disseminação em relação ao tempo necessário para que uma determinada porcentagem de veículos seja informada.

Para avaliar a qualidade da agregação, que está diretamente relacionada com os componentes de decisão e fusão, a seguinte métrica será utilizada.

- **Desvio Médio** – mede a diferença entre o valor gerado pelo esquema de agregação e o valor obtido através das informações atômicas dos veículos. O

desvio médio será calculado para um único segmento, em função do tempo, e para todos os veículos que possuem alguma informação sobre esse segmento no mesmo instante de tempo.

O valor obtido através das informações atômicas dos veículos para um determinado segmento, extraída dos traces de mobilidade, será chamado de representação do oráculo. Para gerar essa representação, é considerada a velocidade média dos veículos que trafegaram por esse segmento em um determinado instante de tempo.

Já o valor gerado pelo esquema de agregação sobre um determinado segmento será chamado de representação do esquema de agregação. Ela será extraída da base de conhecimento dos veículos que possuem alguma informação sobre esse segmento, em um determinado instante de tempo. Como a representação do oráculo indica o valor esperado, em um determinado segmento, quanto menos a representação gerada pelo esquema de agregação em consideração divergir da representação do oráculo, melhor.

O desvio médio de um segmento é calculado pela Equação (2):

$$DM_{(t)} = \left(\sum_{i=1}^n |O_{(t)} - VAI_{i(t)}| \right) \frac{1}{n}, \forall n \geq 1 \quad (2)$$

Onde **O(t)** é a representação do oráculo no instante **t**, **VAi(t)** é a velocidade agregada, gerada pelo esquema de agregação do veículo **i** no mesmo instante **t**, e **n** é o número de veículos que possuem alguma informação disponível sobre o segmento analisado no instante de tempo **t**.

6.3 Resultados das Simulações

Conforme citado anteriormente, a avaliação de desempenho dos esquemas de agregação e da qualidade das informações agregadas foram realizadas

separadamente. Primeiramente, a comparação do desempenho do componente de disseminação do esquema de agregação INATIS com o componente de disseminação dos esquemas SOTIS, com tempo de disseminação de 1 e 2 segundos, e RW, foi realizado. Após, os resultados acerca da qualidade das informações agregadas, referentes aos componentes de decisão e fusão serão apresentados.

6.3.1 Análise da Disseminação

Para avaliar a disseminação, quatro segmentos, de cada um dos dois cenários simulados, foram selecionados para análise. O critério de seleção se baseou na quantidade de veículos que trafegaram pelo segmento e na distância entre eles.

Foram analisados apenas quatro segmentos, pois a ideia foi verificar, de maneira estimada, se a localização do segmento influenciaria de maneira significativa o desempenho dos esquemas analisados, uma vez que, na disseminação de único salto, a propagação da mensagem depende principalmente da mobilidade dos veículos. A Figura 6.3 mostra os segmentos (A, B, C e D) selecionados, indicados pelas elipses, para o cenário de Manhattan.

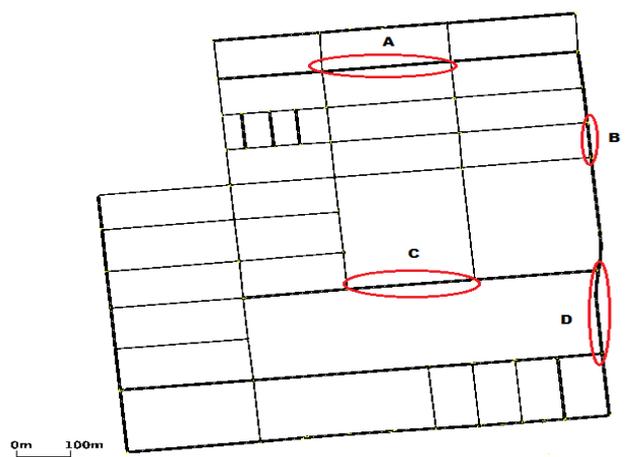


Figura 6.3 – Segmentos utilizados na análise, cenário de Manhattan

A seguir, para o cenário de Roma, a Figura 6.4 mostra os segmentos (A, B, C e D) selecionados, indicados pelas elipses.

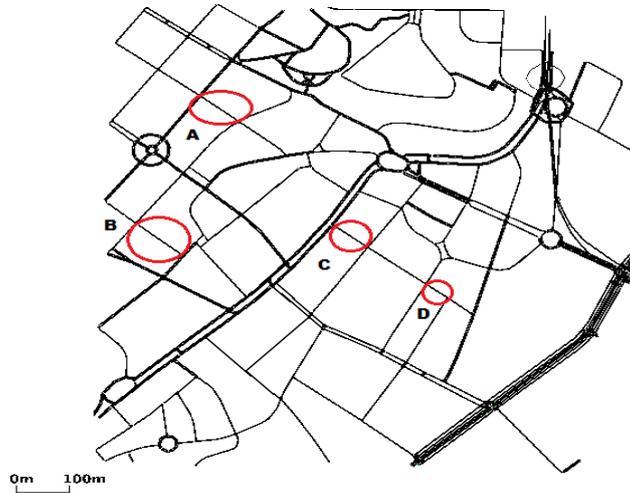


Figura 6.4 – Segmentos utilizados na análise, cenário de Roma

- **Número de Mensagens Geradas**

A Figura 6.5 mostra os resultados referentes ao número de mensagens geradas pelos diferentes esquemas de agregação avaliados. Conforme esperado, a estratégia de disseminação utilizada pelo esquema de agregação INATIS reduziu consideravelmente a quantidade de mensagens geradas em ambos os cenários.

Conforme a Figura 6.5 (a), para as diferentes quantidades de veículos, no cenário de Manhattan, INATIS apresentou uma redução média de 77,2% na quantidade de mensagens geradas em relação ao SOTIS (1s), que foi o esquema que mais gerou mensagens. Já em relação aos esquemas SOTIS (2s) e RW, a redução foi de 54,7% e 65,6% em média, respectivamente.

Para o cenário de Roma, conforme mostrado na Figura 6.5 (b), a redução média foi de 86,3% em relação ao SOTIS (1s), de 72,7% em relação ao SOTIS (2s) e de 79,1% em relação ao RW.

Podemos perceber que o esquema SOTIS (1s) gerou praticamente a mesma quantidade de mensagens, tanto no cenário de Manhattan, quanto no de Roma. O

mesmo vale para SOTIS (2s) e RW. Isso se deve ao fato desses esquemas funcionarem com um tempo de disseminação pré-estabelecido, não levando em consideração as especificidades do cenário. Ou seja, por exemplo, a cada um segundo o esquema SOTIS (1s) dissemina mensagens tanto no cenário de Manhattan quanto em Roma. Já o INATIS obteve resultados bem distintos, uma vez que a quantidade de interseções no cenário e o tamanho dos segmentos influenciam na sua estratégia de disseminação.

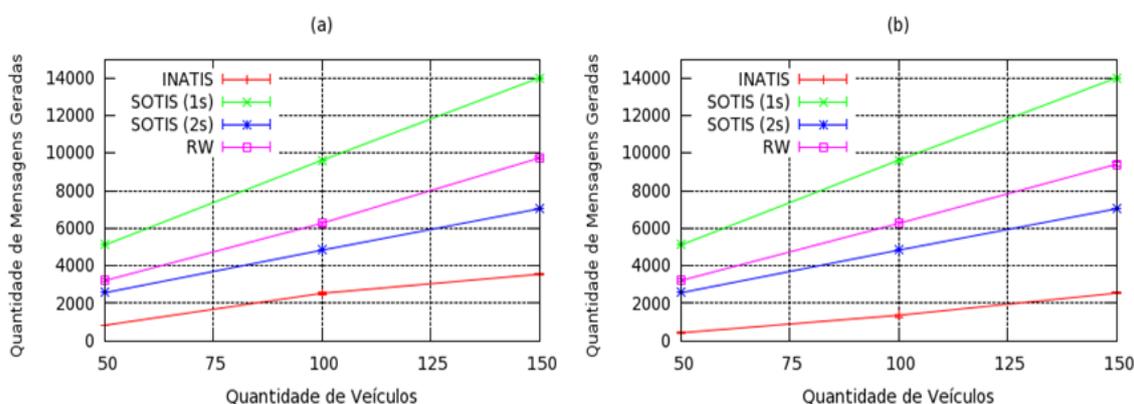


Figura 6.5 – Quantidade de mensagens geradas pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW para o cenário de Manhattan (a) e para o de Roma (b)

- **Taxa de Notificação**

Uma preocupação com a redução na quantidade de mensagens é que ela possa impactar negativamente as outras métricas de desempenho. Portanto, em um primeiro momento a taxa de notificação foi analisada. A Figura 6.6 mostra o resultado dessa métrica para as informações disseminadas referente aos segmentos A, B, C e D do cenário de Manhattan.

Mesmo com uma quantidade bastante inferior de mensagens geradas, o INATIS conseguiu taxas de notificação bem próximas às máximas em todos os segmentos, conforme a Figura 6.6, para as diferentes quantidades de veículos. Graças à estratégia de utilizar as interseções para disseminar a informação, além de superar os demais esquemas avaliados, o INATIS apresentou valores quase

constantes de taxa, independente do segmento analisado. Já os demais esquemas, além de obterem taxas de notificação menores que o INATIS, apresentaram uma variação dessa taxa dependendo do segmento analisado devido à propagação da informação depender somente da mobilidade dos veículos, uma vez que, mesmo gerando mais mensagens, não é garantida a disseminação em uma interseção.

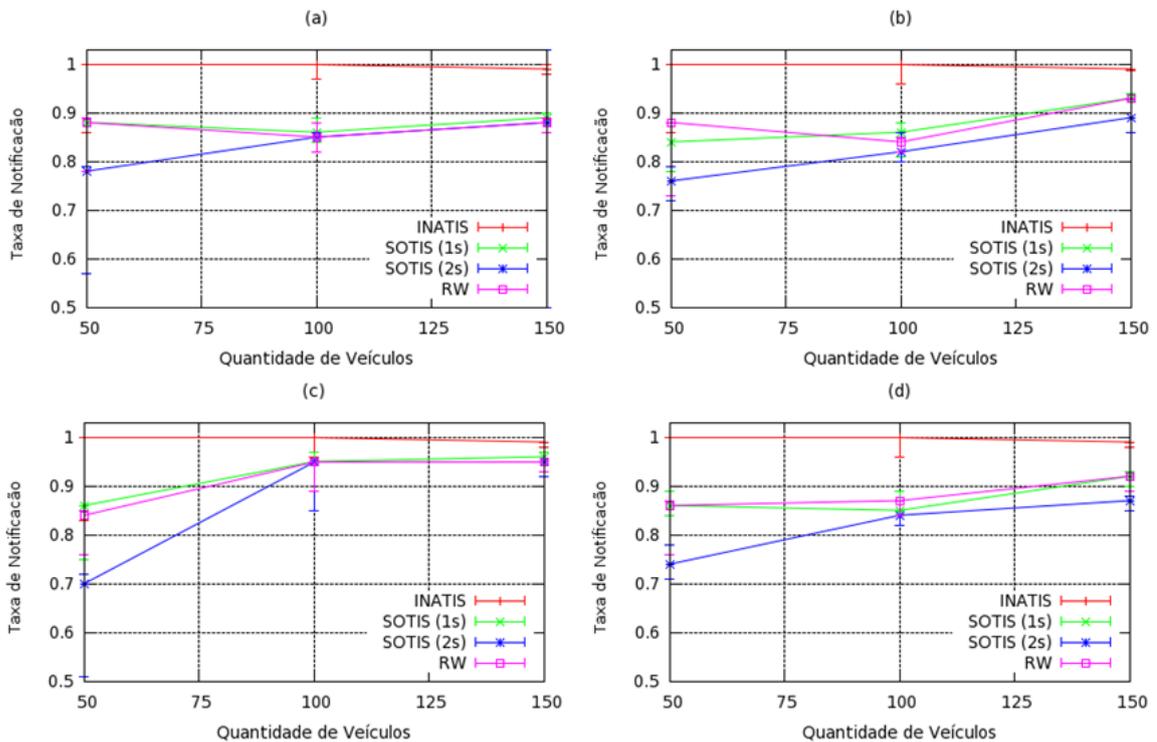


Figura 6.6 – Taxa de notificação alcançado pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B (b), C (c) e D (d) do cenário de Manhattan

Em seguida, a Figura 6.7 mostra o resultado da taxa de notificação referente aos segmentos A, B, C e D, só que para o cenário de Roma.

Como podemos ver nos resultados, a diferença na topologia do cenário de Roma em relação ao de Manhattan influenciou os valores obtidos para as taxas de notificação de todos os esquemas. Embora o desempenho do esquema de agregação INATIS tenha permanecido superior ao dos demais esquemas avaliados para as quantidades de 100 e 150 veículos, para a quantidade de 50 veículos INATIS obteve um desempenho inferior ao esquema RW e, em alguns casos, ao SOTIS.

Esse comportamento se explica, provavelmente, devido à grande parte dos segmentos, presentes no cenário de Roma, serem em curvas. Em uma densidade baixa de veículos, mesmo com a estratégia de se disseminar nas interseções, a topologia do segmento pode não permitir que a informação se propague por todo ele, fazendo com que a estratégia que dissemina informações no meio de um segmento tenha um desempenho melhor. Entretanto, quando a densidade de veículos aumenta, a estratégia do INATIS de encaminhar imediatamente ao receber uma informação sobre um segmento que não estava presente na sua base de conhecimento, contorna o problema da topologia em curva do segmento. Assim, isto fará com que, mesmo não estando em uma interseção, o veículo dissemine a informação novamente melhorando a propagação sem aumentar significativamente a quantidade de mensagens geradas.

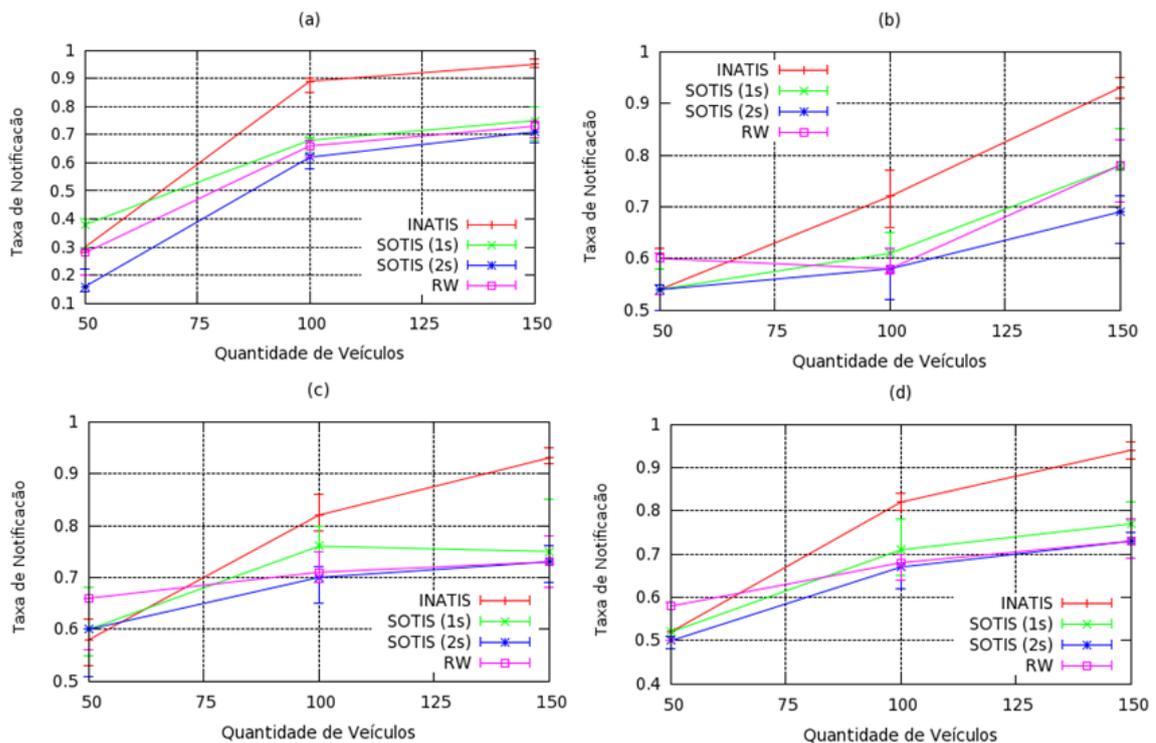


Figura 6.7 – Taxa de notificação alcançado pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B(b), C (c) e D (d) do cenário de Roma

- **Tempo de Notificação**

Como última análise do componente de disseminação, o tempo de notificação foi avaliado. Além de disseminar informações com um menor número de mensagens, é de suma importância que essa disseminação aconteça para a maior quantidade de veículos, o mais rápido possível. Assim, a Figura 6.8 ilustra o comportamento dos esquemas avaliados, para o cenário de Manhattan, com quantidades de 50, 100 e 150 veículos, em relação ao tempo que cada um leva para alcançar uma determinada porcentagem de veículos informados em relação ao segmento A. Conforme a Figura 6.8 (a), com quantidade de 50 veículos, INATIS conseguiu notificar 100% dos veículos logo após 40 segundos. Já os demais esquemas, que não conseguiram notificar 100% dos veículos, alcançaram seus valores máximos somente após 80 segundos.

Percebemos mais uma vez que a estratégia do INATIS, de disseminar imediatamente ao receber informações sobre segmentos que não estavam contidos na sua base de conhecimento, faz com que tão logo uma informação esteja disponível, ela se propague rapidamente. Além disso, utilizar as interseções aumenta a probabilidade de que mais veículos recebam a mensagem, principalmente em cenários com topologia similar ao cenário de Manhattan.

O aumento da quantidade de veículos para 100, conforme a Figura 6.8 (b), e 150, conforme a Figura 6.8(c), melhorou o percentual de notificação para todos os esquemas avaliados.

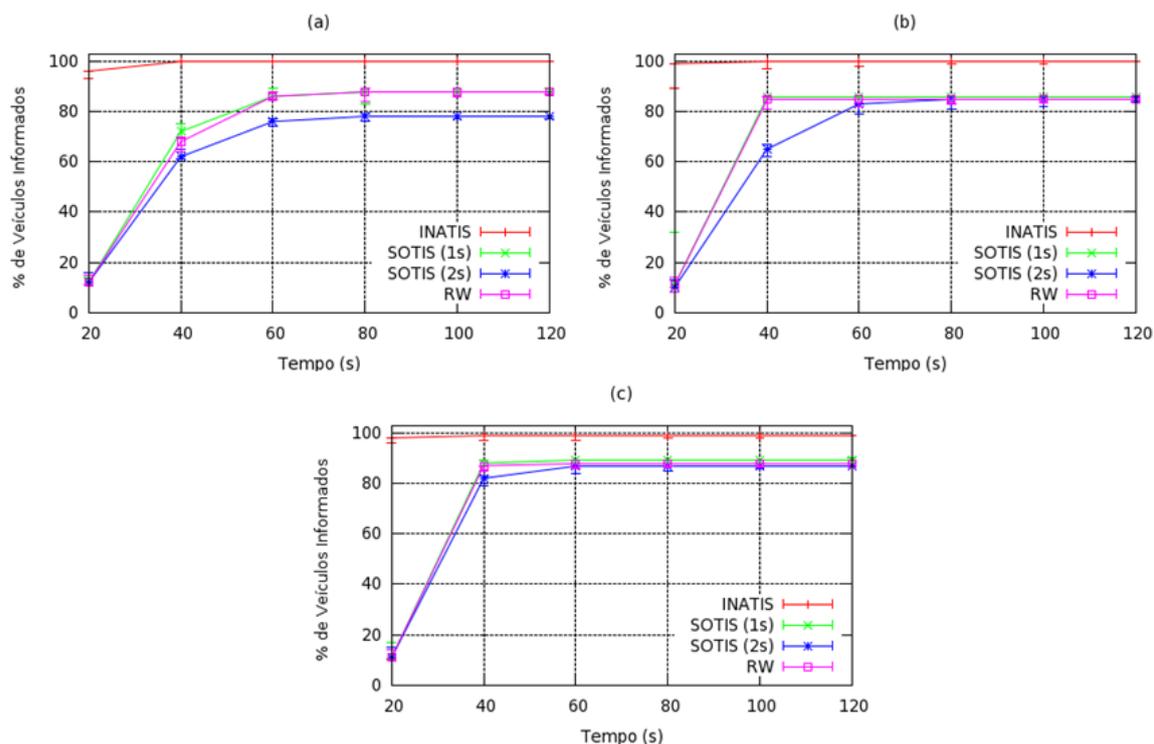


Figura 6.8 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

A Tabela 6.2 mostra o tempo médio necessário para cada esquema alcançar sua porcentagem máxima de veículos notificados, referente ao cenário da Figura 6.8. Podemos observar que o INATIS conseguiu os menores tempos médios juntamente com os menores desvios, confirmando os resultados mostrados nos gráficos da Figura 6.8. Em relação aos demais esquemas avaliados, INATIS diminui o tempo médio em 34,2% para o cenário com 50 veículos, enquanto que para os cenários com 100 e 150 veículos essa diminuição foi de 37,3% e 38,7%, respectivamente.

Tabela 6.2 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados

Qtde	Tempo (s)	SOTIS (1s)	SOTIS(2s)	RW	INATIS
50	Média	31,26	33,59	31,27	21,32
	Desvio Padrão	11,75	11,55	11,50	4,24
100	Média	26,7	34,40	28,75	18,50
	Desvio Padrão	5,29	10,89	6,33	3,09
150	Média	26,69	31,25	27,61	17,64
	Desvio Padrão	5,78	7,42	5,71	2,5

A seguir, as Figuras 6.9, 6.10 e 6.11 mostram os resultados dos tempos de notificação, referentes aos segmentos B, C e D, ainda em relação ao cenário de Manhattan. Analisando o comportamento do percentual de veículos informados obtidos para esses segmentos, podemos afirmar que eles não apresentaram uma variação significativa e mantiveram o comportamento observado ao do segmento A, no qual o tempo de notificação diminui a medida que o número de veículos aumenta.

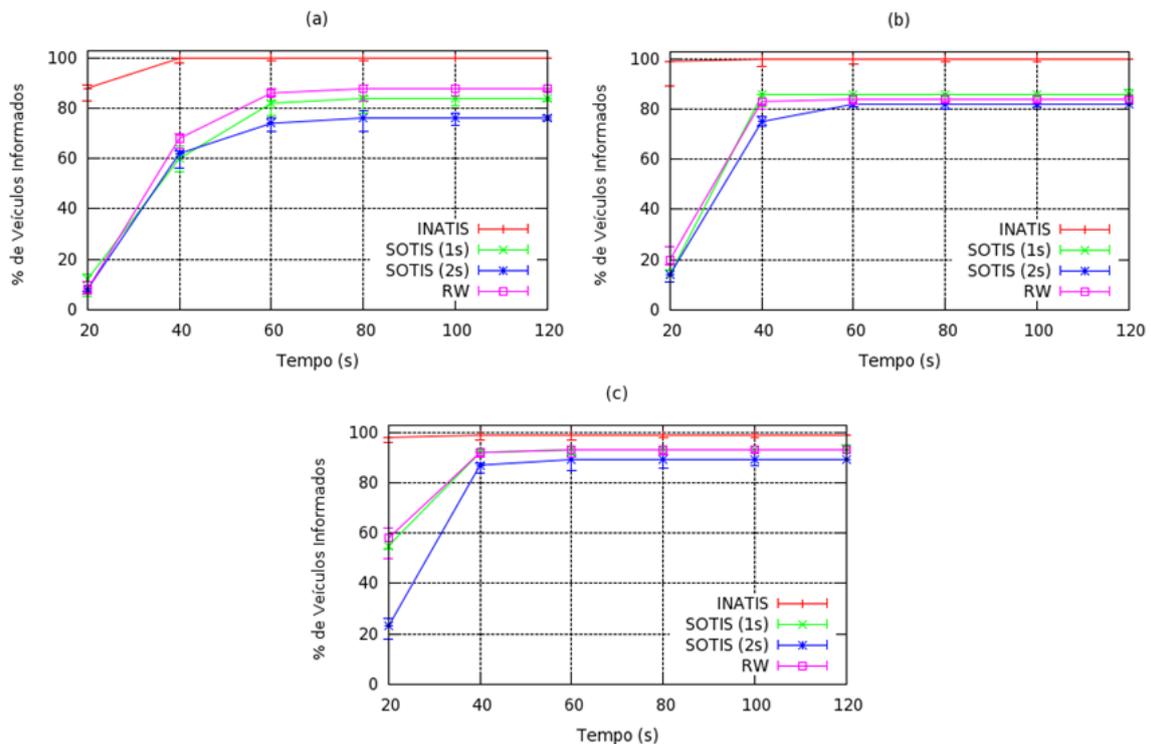


Figura 6.9 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

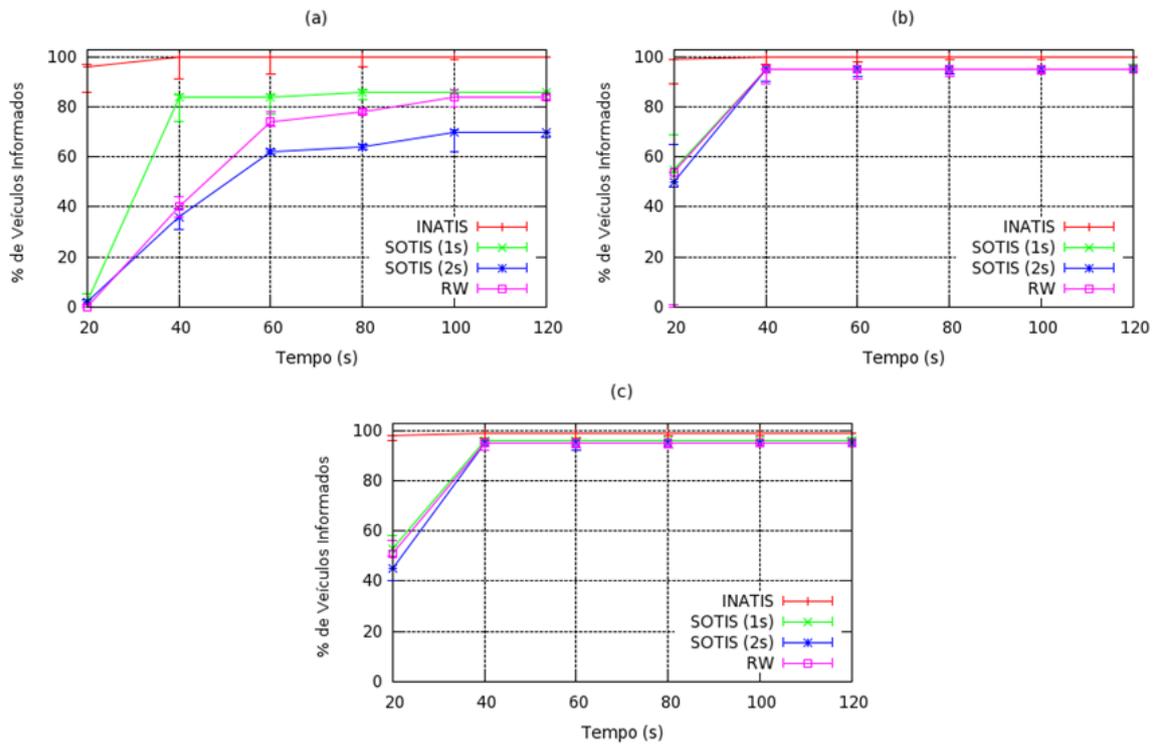


Figura 6.10 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

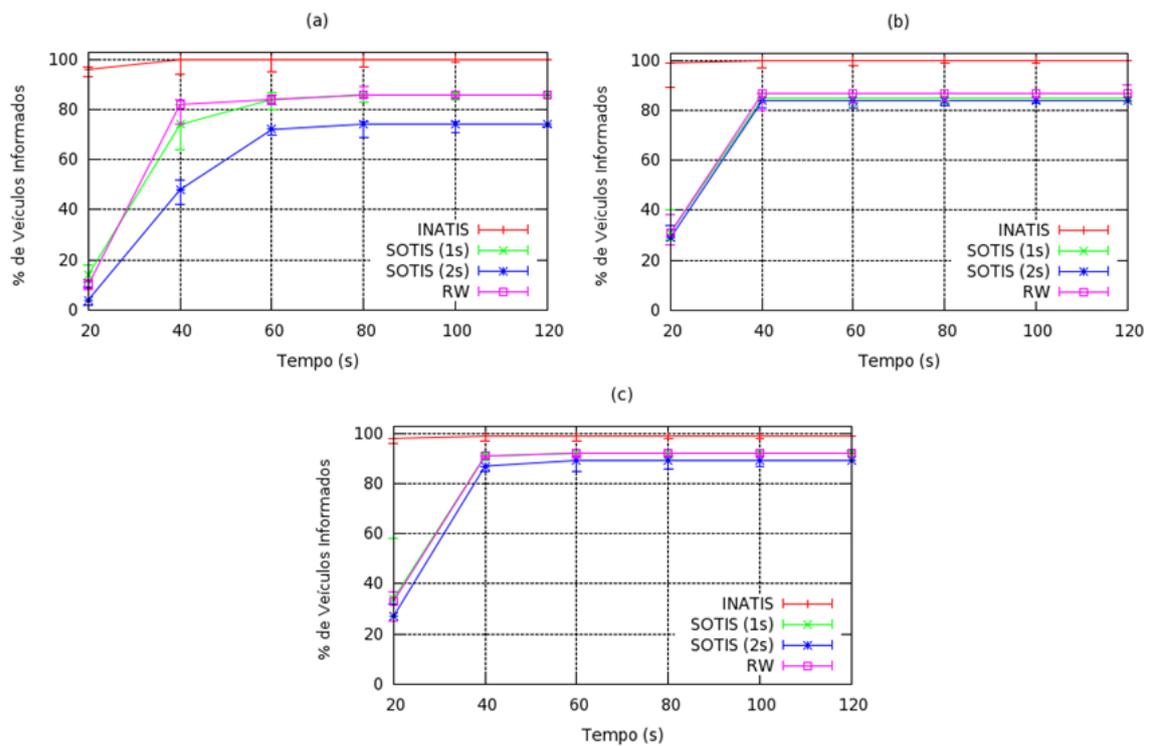


Figura 6.11 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Manhattan com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

Agora, para o cenário de Roma, a Figura 6.12 mostra os resultados obtidos para a métrica tempo de notificação em relação ao segmento A e quantidades de 50, 100 e 150 veículos.

Ao analisarmos a Figura 6.12 (a), novamente podemos perceber que a topologia dos segmentos no cenário de Roma, aliada à baixa densidade de veículos, influenciou negativamente o desempenho dos esquemas de agregação, inclusive o INATIS. Entretanto, o tempo necessário para notificação de uma determinada porcentagem de veículos não se distanciou muito dos demais esquemas, principalmente se levarmos em consideração a quantidade reduzida de mensagens geradas pelo esquema proposto.

Contudo, é possível observar que o aumento da quantidade de veículos, para 100 e 150, conforme as Figuras 6.12 (b) e (c), fez com que o desempenho obtido pelo esquema de agregação INATIS superasse consideravelmente o dos demais esquemas, mesmo no cenário de Roma.

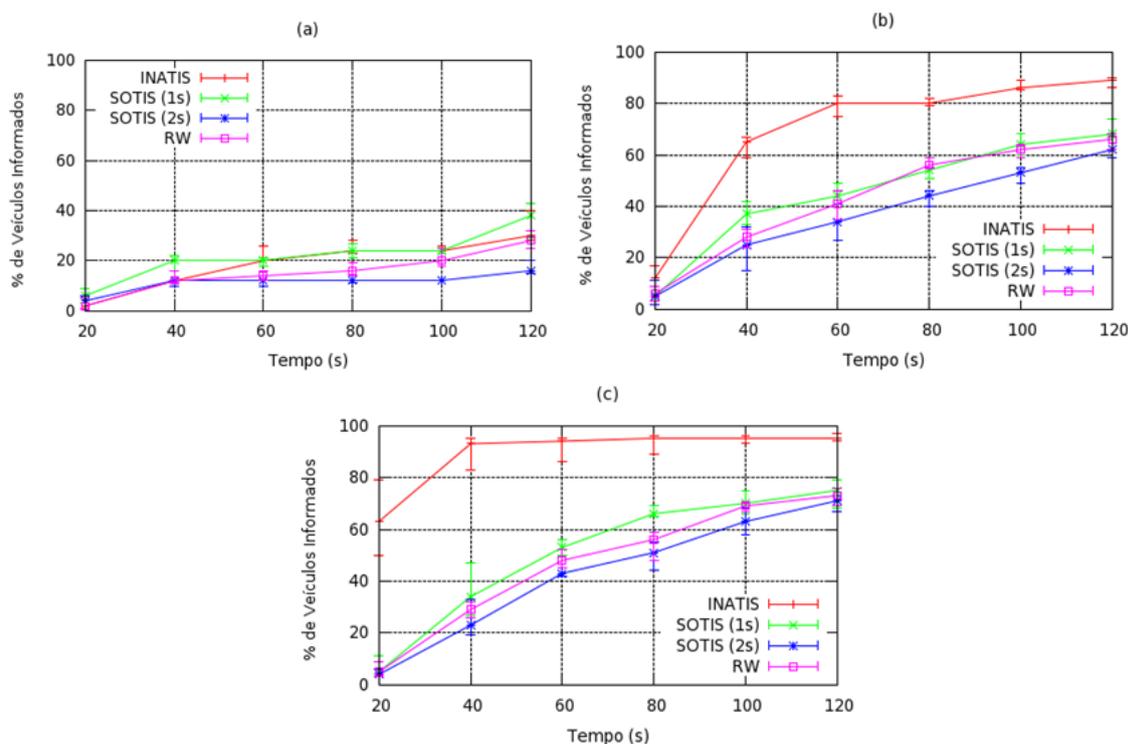


Figura 6.12 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

Nesse cenário, referente à Figura 6.12, a Tabela 6.3 mostra o tempo médio necessário por cada esquema para alcançar sua porcentagem máxima de veículos notificados. Embora tenha obtido resultados melhores com o aumento da densidade, com destaque para a redução de 47,5% no cenário com 150 veículos, o esquema INATIS obteve segundo pior tempo médio no cenário com 50 veículos, sendo apenas um segundo mais rápido que o esquema com pior tempo, o SOTIS (1s). Contudo, ao analisarmos o gráfico mostrado na Figura 6.12(a), podemos observar que SOTIS (1s) foi o esquema que mais notificou veículos, sendo que aproximadamente 20% dessa notificação ocorreu nos últimos 10 segundos de simulação, aumentando assim o seu tempo médio.

Tabela 6.3 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados

Qtde	Tempo (s)	SOTIS (1s)	SOTIS (2s)	RW	INATIS
50	Média	59,74	45	42,88	58,30
	Desvio Padrão	39,76	38,94	37,03	41,18
100	Média	50,49	58,87	52,62	48,26
	Desvio Padrão	27,71	31,82	27,84	23,12
150	Média	49,70	58,17	54,60	28,57
	Desvio Padrão	24,21	28,77	27,78	7,68

A seguir, as Figuras 6.13, 6.14 e 6.15 mostram os resultados dos tempos de notificação, referentes aos segmentos B, C e D, do cenário de Roma, com as quantidades de 50, 100 e 150 veículos. Diferente do que aconteceu no cenário de Manhattan, os resultados apresentaram algumas variações de comportamento, de acordo com o segmento analisado. Entretanto, na maioria dos cenários o esquema INATIS apresentou o melhor desempenho de percentual de notificação.

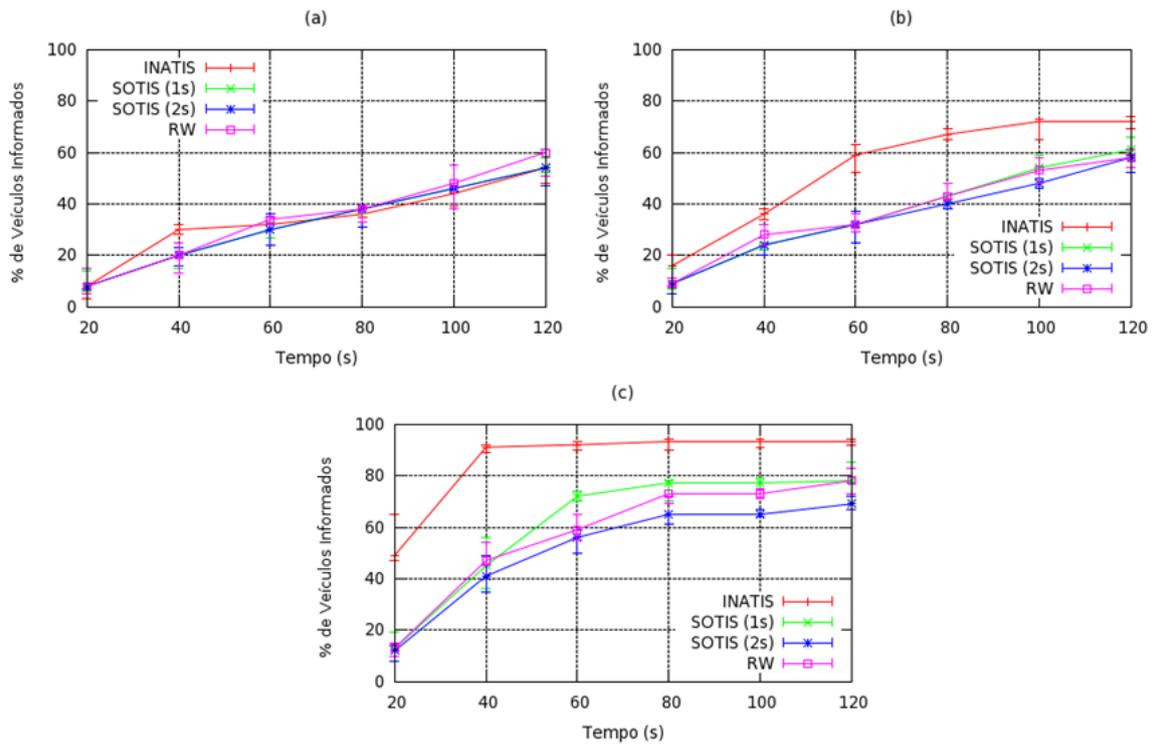


Figura 6.13 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

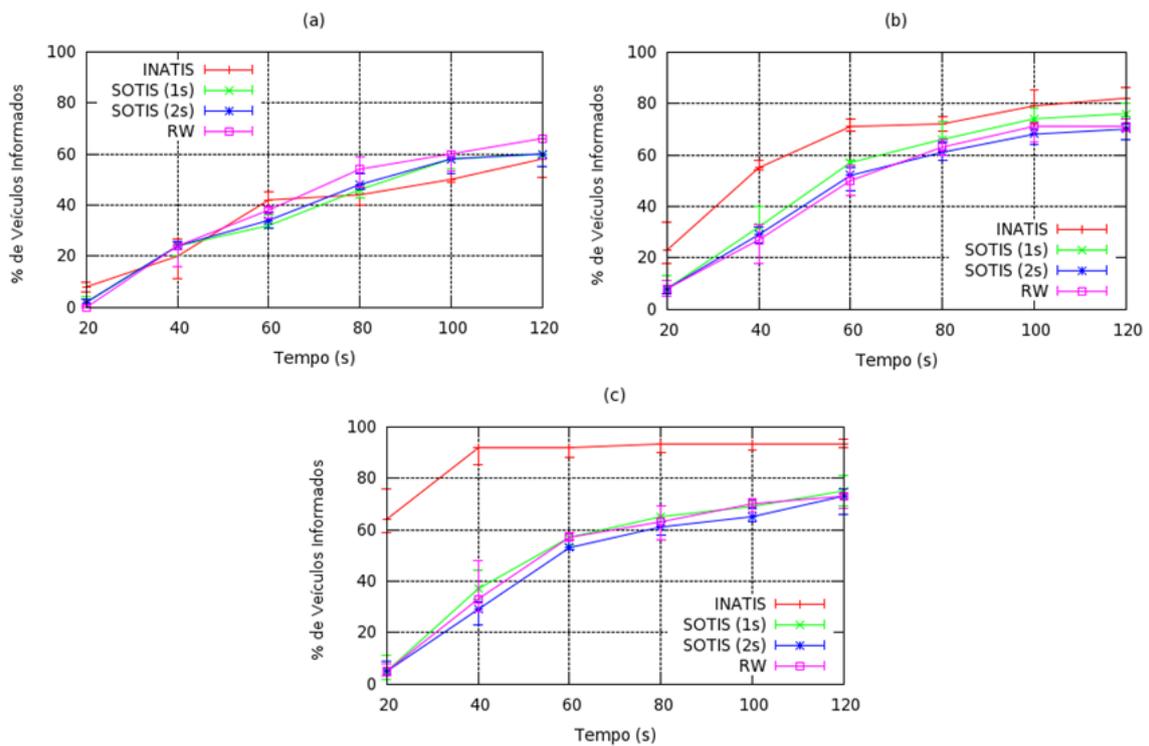


Figura 6.14 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

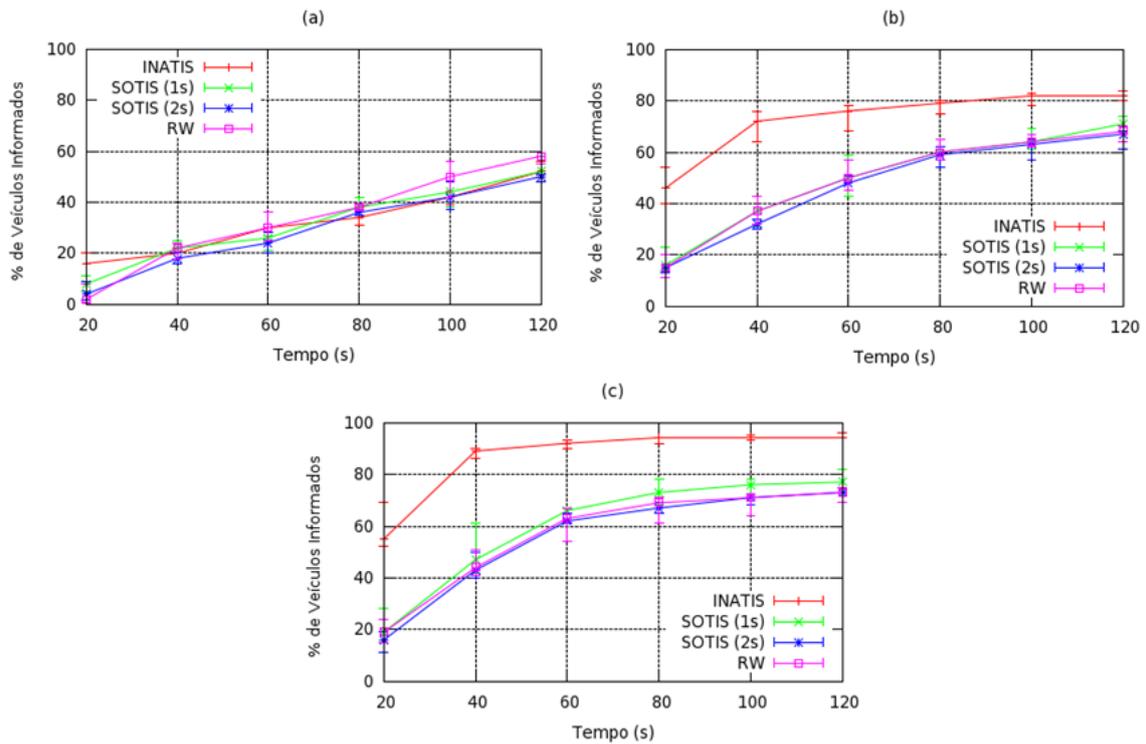


Figura 6.15 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Roma com quantidade de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

6.3.2 Análise da Agregação

Uma possível desvantagem gerada pelo uso da agregação de dados é a perda da precisão na representação da situação real do tráfego, uma vez que, em geral, as informações serão resumidas de alguma forma para que a quantidade de mensagens seja reduzida.

A avaliação dessa precisão foi feita através da métrica de desvio médio, que foi definida na Seção 6.2. Os componentes de um esquema de agregação que influenciam diretamente a precisão da informação são decisão e fusão. O primeiro e principal, responsável por correlacionar as informações que podem ser agregadas, pode gerar um desvio muito grande na precisão, no caso de um correlacionamento incorreto. O segundo, que efetivamente realiza a agregação das informações, no caso da escolha inadequada da função que irá calcular o novo valor agregado.

Como a ideia agora é analisar somente a qualidade, mais especificamente a precisão das informações geradas pelos esquemas de agregação, os mesmos cenários utilizados para avaliar o componente de disseminação serão considerados. Entretanto, dos quatro segmentos analisados anteriormente, apenas um segmento de cada cenário, sendo o que possuiu informações disponíveis durante o maior período de tempo, foi avaliado.

Conforme mencionado, o componente de decisão irá correlacionar as informações que podem ser agregadas. Portanto, excetuando-se o INATIS, os demais esquemas, além de utilizarem segmentação de tamanho fixo, foram propostos e avaliados em cenários de rodovia. Sendo assim, é intuitivo que em cenários urbanos seus componentes de decisão provavelmente acarretarão um correlacionamento inadequado das informações, gerando resultados bem diferentes do esperado. Por esse motivo, o componente de decisão do esquema que será comparado com o esquema de agregação INATIS utilizou a mesma segmentação baseada em interseções, pensada para cenários urbanos. As demais características se mantiveram as mesmas.

Além do INATIS, o esquema que será avaliado em relação ao desvio médio será o SOTIS (1s). Ele foi escolhido devido aos seus resultados, obtidos na avaliação do componente de disseminação, terem sido os mais próximos aos do INATIS e por ser o esquema que mais gerou mensagens. Sendo assim, decidiu-se investigar também se a quantidade de mensagens influenciaria de alguma forma a precisão da informação.

Na Figura 6.16 o desvio médio dos esquemas INATIS e SOTIS (1s) em relação ao segmento C é mostrado. Podemos observar que até os 40 segundos de simulação, os valores gerados pelos esquemas analisados se mantiveram bem próximos aos observado pelo oráculo, com um desvio médio variando entre 0,51% a 1,19%. Entretanto, uma queda repentina na velocidade média no segmento causou

um aumento significativo no desvio, alcançando 80,2%, devido à maior parte dos veículos que possuíam alguma informação sobre esse segmento ainda não terem recebido a notificação a respeito da nova velocidade média. A partir dos 80 segundos, até o final do tempo de simulação, o desvio médio de ambos os esquemas se manteve baixo, com INATIS variando entre 0,44% a 7,3% enquanto que SOTIS (1s) variou entre 0,79% a 7,1%. De uma maneira geral podemos perceber um nível de precisão equivalente entre os dois esquemas analisados, mesmo com um número bem superior de mensagens geradas pelo esquema SOTIS (1s).

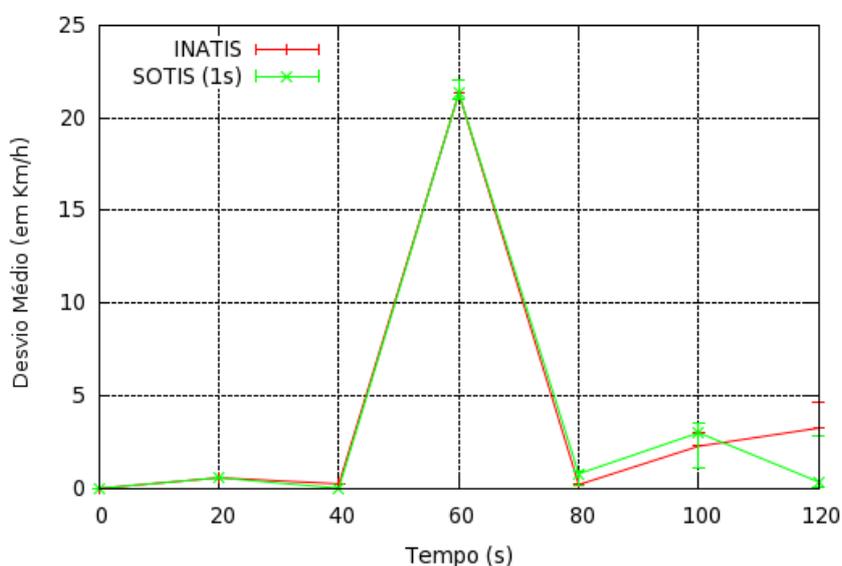


Figura 6.16 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento C do cenário de Manhattan e quantidade de 50 veículos

A Figura 6.17 mostra o desvio médio para o mesmo segmento C, do cenário de Manhattan, porém agora para uma quantidade de 150 veículos. Assim como para as métricas de taxa de notificação e tempo de notificação, o aumento na quantidade de veículos influenciou positivamente no resultado final, pois o desvio se manteve baixo para ambos os esquemas, mesmo com a variação da velocidade média no segmento analisado. O esquema INATIS apresentou um desvio máximo de 12,7% enquanto que SOTIS (1s) alcançou 16,5%.

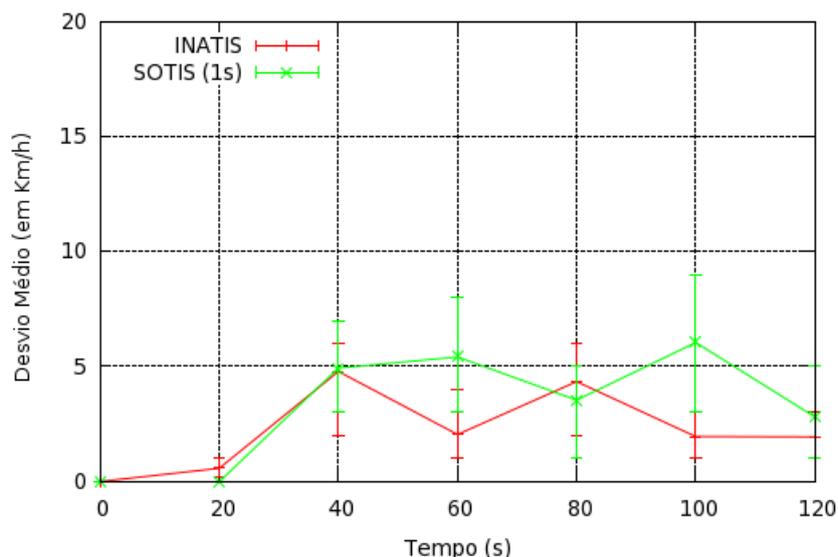


Figura 6.17 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento C do cenário de Manhattan e quantidade de 150 veículos

O desvio médio dos esquemas INATIS e SOTIS (1s), agora para o cenário de Roma, em relação segmento B e uma quantidade de 50 veículos é mostrada na Figura 6.18. Podemos observar que no início o desvio da representação do oráculo se mantém alto, mais especificamente em 100%, devido à informação sobre a velocidade média no segmento não ter começado a ser disseminada ainda. À medida que o tempo passou e as informações começaram a ser disseminadas, o desvio foi diminuindo. Conforme mencionado anteriormente, a topologia do cenário de Roma, juntamente com uma baixa densidade de veículos, influenciou de forma negativa os resultados obtidos pelos esquemas de agregação analisados, pois a propagação da informação a respeito de um determinado segmento levou mais tempo que no cenário de Manhattan. Contudo, os desvios apresentados por ambos os esquemas mostraram novamente um desempenho similar, com INATIS variando entre 2,33% a 71,6% e SOTIS (1s) entre 3,6% a 66,7%.

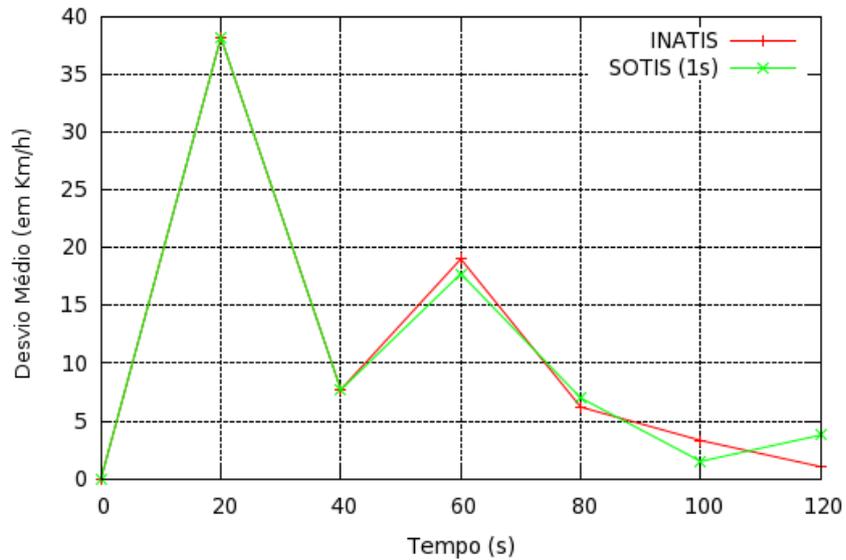


Figura 6.18 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Roma e quantidade de 50 veículos

Agora, para uma quantidade de 150 veículos, mas ainda para o cenário de Roma referente ao segmento B, o desvio médio é mostrado na Figura 6.19. O desvio de ambos os esquemas foi maior, se comparado ao cenário de Manhattan com a mesma quantidade de veículos. Contudo, esses valores alcançaram um máximo de 17,9% de desvio para o esquema de agregação INATIS e 21,7% para SOTIS (1s). Podemos observar mais uma vez que o aumento na quantidade de veículos reduziu a variação do desvio médio apresentado pelos esquemas.

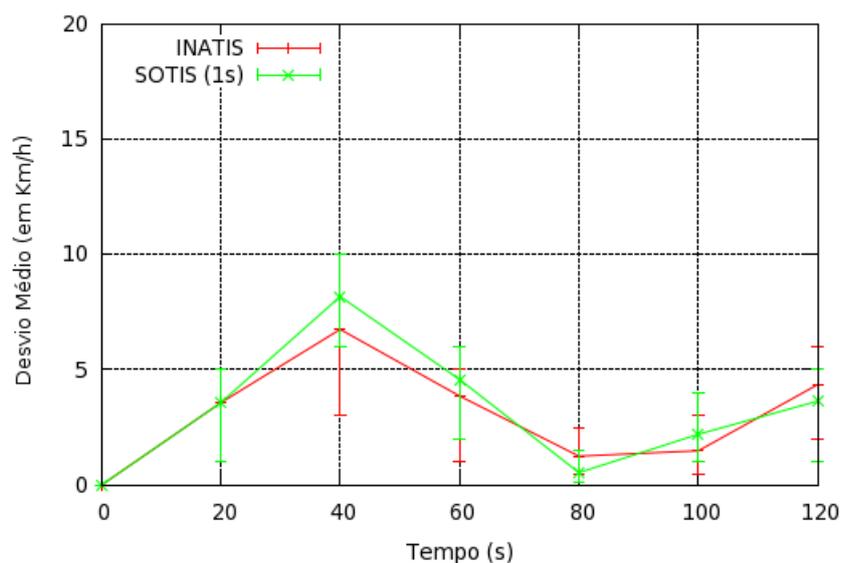


Figura 6.19 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Roma e quantidade de 150 veículos

6.4 Análise Complementar

Com o intuito de verificar o comportamento do esquema proposto em um cenário maior, outro trecho da ilha de Manhattan, porém agora com dimensões de 2.000 m X 2.000 m, foi utilizado para um estudo complementar. A Figura 6.20 mostra o mapa do novo cenário, assim como a localização dos quatro segmentos, indicados pelas elipses, utilizados na análise.

A quantidade de veículos presente em todo cenário novamente variou de 50 a 150, enquanto que os demais parâmetros da simulação mantiveram-se os mesmos anteriormente utilizados.

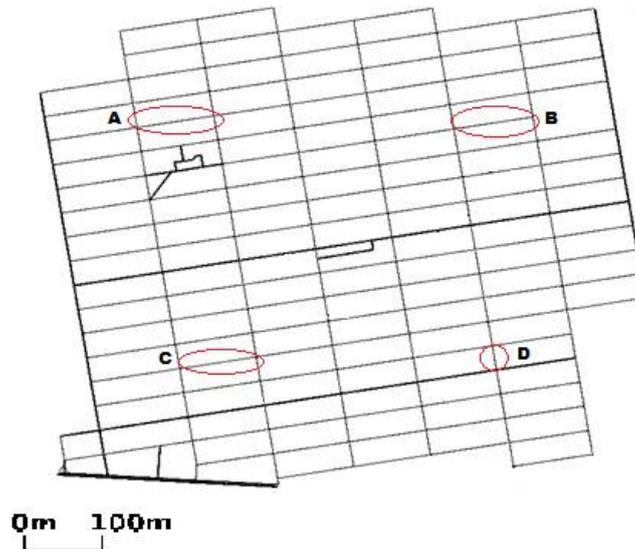


Figura 6.20 – Mapa do trecho de Manhattan (2 km x 2 km), com a indicação dos respectivos segmentos analisados

- **Mensagens Geradas**

A Figura 6.21 mostra a quantidade de mensagens geradas pelos esquemas analisados para esse novo cenário. Novamente a estratégia de disseminação utilizada pelo esquema INATIS fez com que ele obtivesse a menor quantidade de mensagens geradas, assim como nos cenários anteriores.

A percentagem média da redução foi de 79,8% se comparado ao SOTIS (1s) e de 60% e 70% para os esquemas SOTIS (2s) e RW, respectivamente.

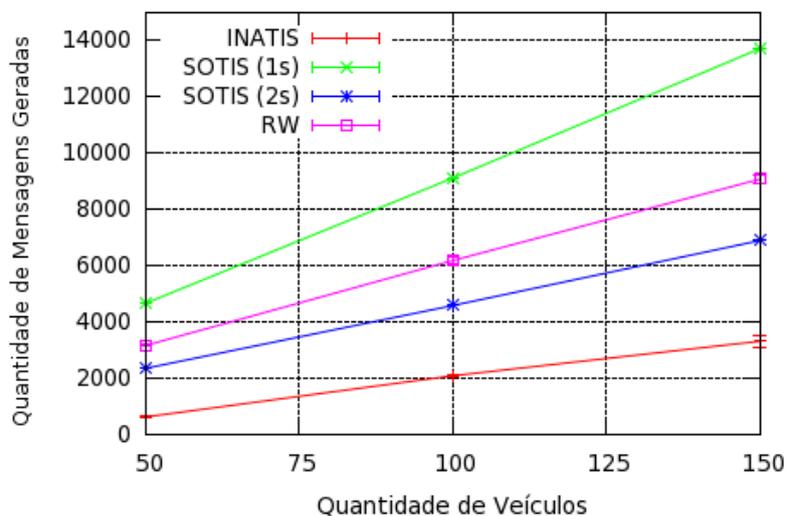


Figura 6.21 – Quantidade de mensagens geradas pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km)

- **Taxa de Notificação**

A Figura 6.22 mostra a taxa de notificação alcançada pelos esquemas avaliados, em relação aos segmentos A, B, C e D. Mesmo com o aumento das dimensões do cenário, podemos observar que INATIS conseguiu resultados similares ou melhores que os demais esquemas, com uma quantidade de 50 veículos. Com o aumento da densidade de veículos, INATIS apresentou sempre um desempenho superior aos demais, chegando a alcançar a taxa máxima, com uma quantidade de 150 veículos, em três dos quatro segmentos analisados, conforme as Figuras 6.22 (b), (c) e (d).

Novamente a estratégia de disseminação do esquema INATIS confirmou que, mesmo em cenários maiores, a taxa de notificação não possui uma relação direta com a quantidade de mensagens geradas.

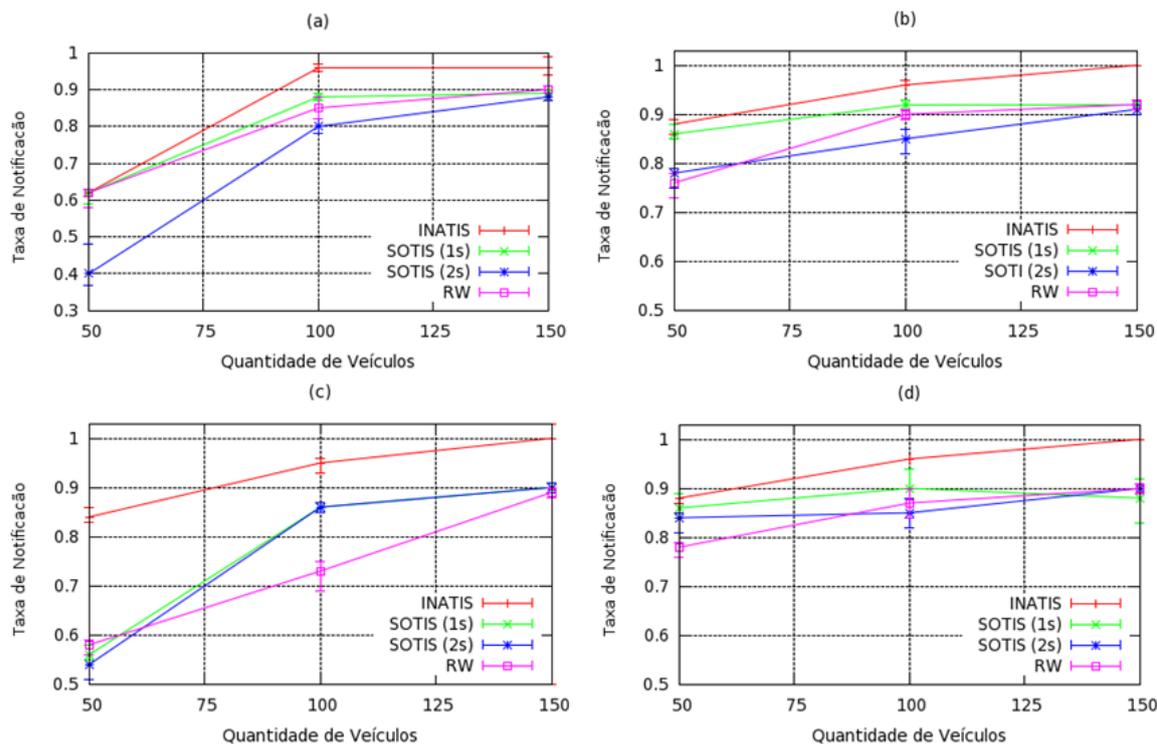


Figura 6.22 – Taxa de notificação alcançada pelos esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação aos segmentos A (a), B(b), C(c) e D(d) do cenário de Manhattan (2 km x 2 km)

- **Tempo de Notificação**

Os tempos de notificação obtidos pelos esquemas analisados, para o segmento A do cenário de Manhattan (2 km x 2 km) e quantidades de 50, 100 e 150 veículos, são mostrados na Figura 6.23. Para uma quantidade de 50 veículos, conforme a Figura 6.23 (a), o INATIS obteve desempenho similar ao SOTIS (1s), mesmo em um cenário maior e com uma quantidade bem inferior de mensagens geradas. Com o aumento da quantidade para 100 e 150 veículos, conforme as Figuras 6.23 (b) e (c), o INATIS mais uma vez tem seu desempenho aumentado, informando uma maior porcentagem de veículos em um tempo menor que os demais esquemas.

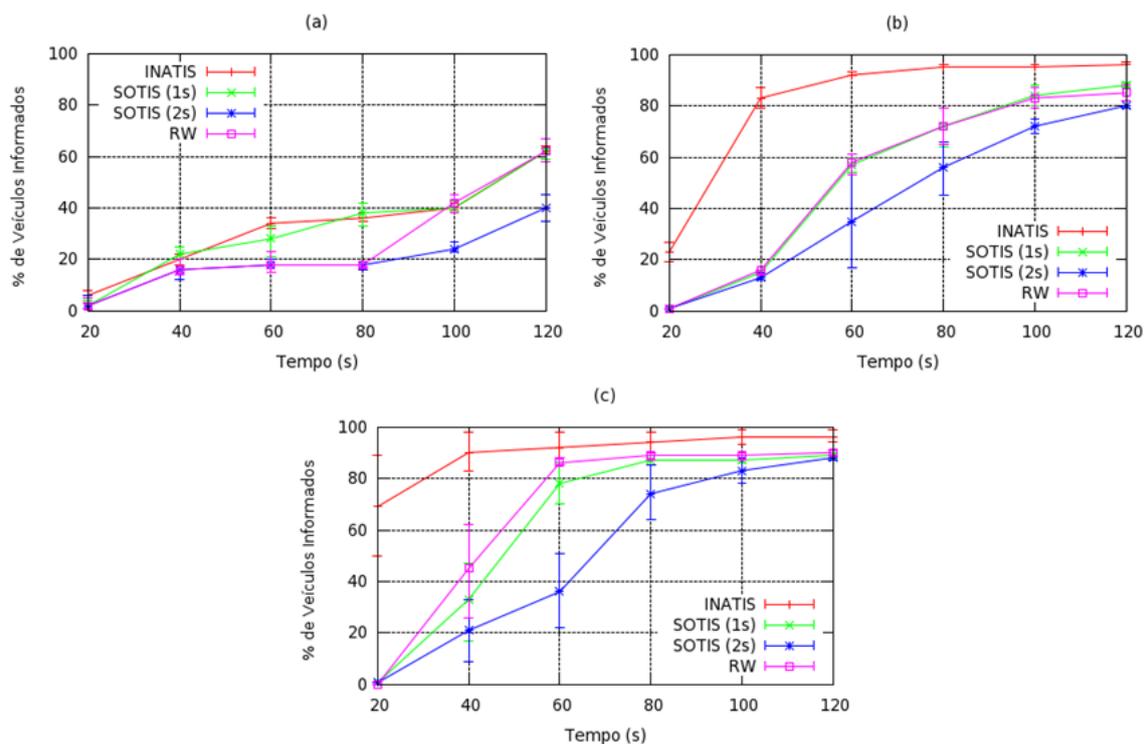


Figura 6.23 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento A para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

A Tabela 6.4 mostra o tempo médio necessário por cada esquema para alcançar sua porcentagem máxima de veículos notificados, referente ao cenário da Figura 6.23. Assim como no cenário de Manhattan com 1 km² de dimensão, o esquema INATIS obteve os menores tempos médios de notificação, entretanto o desvio padrão apresentou valores bem mais elevados. Um ponto importante a se destacar foi a diminuição do tempo médio obtido pelo INATIS em relação aos demais esquemas, na quantidade de 150 veículos, que foi de 45%.

Tabela 6.4 – Tempo médio de notificação dos esquemas avaliados

Qtde	Tempo (s)	SOTIS (1s)	SOTIS (2s)	RW	INATIS
50	Média	69,19	69,86	68,97	63,32
	Desvio Padrão	36,14	35	34,92	38,31
100	Média	57,62	77,53	52,76	38,09
	Desvio Padrão	23,77	25,09	17,28	14,32
150	Média	50,10	69,62	41,87	28,94
	Desvio Padrão	16,82	21,98	14,09	14,56

A seguir, as Figuras 6.24, 6.25 e 6.26 mostram os resultados dos tempos de notificação referentes aos segmentos B, C e D, do cenário de Manhattan (2 km x 2 km), com as quantidades de 50, 100 e 150 veículos. Embora possua uma dimensão maior, a topologia em estilo de grade fez com que os resultados para os demais segmentos apresentassem um comportamento bem parecido ao do cenário de Manhattan com 1 km², onde o tempo de notificação dos esquemas pouco variou dependendo do segmento.

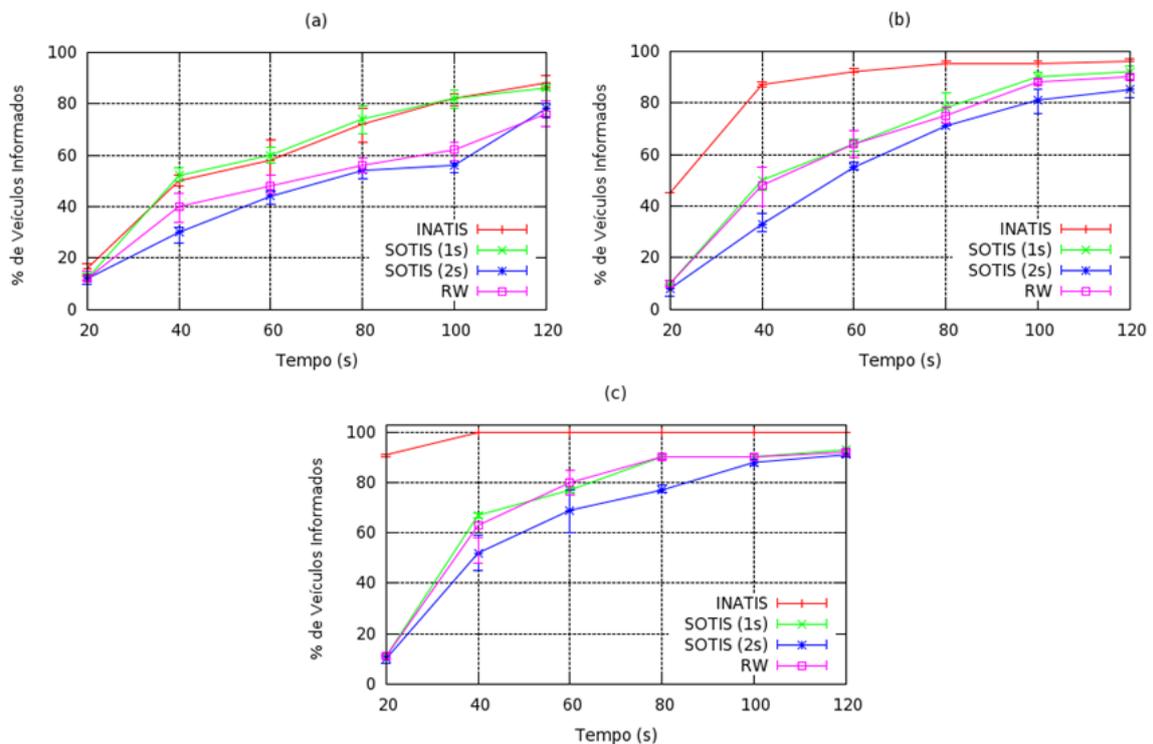


Figura 6.24 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento B para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

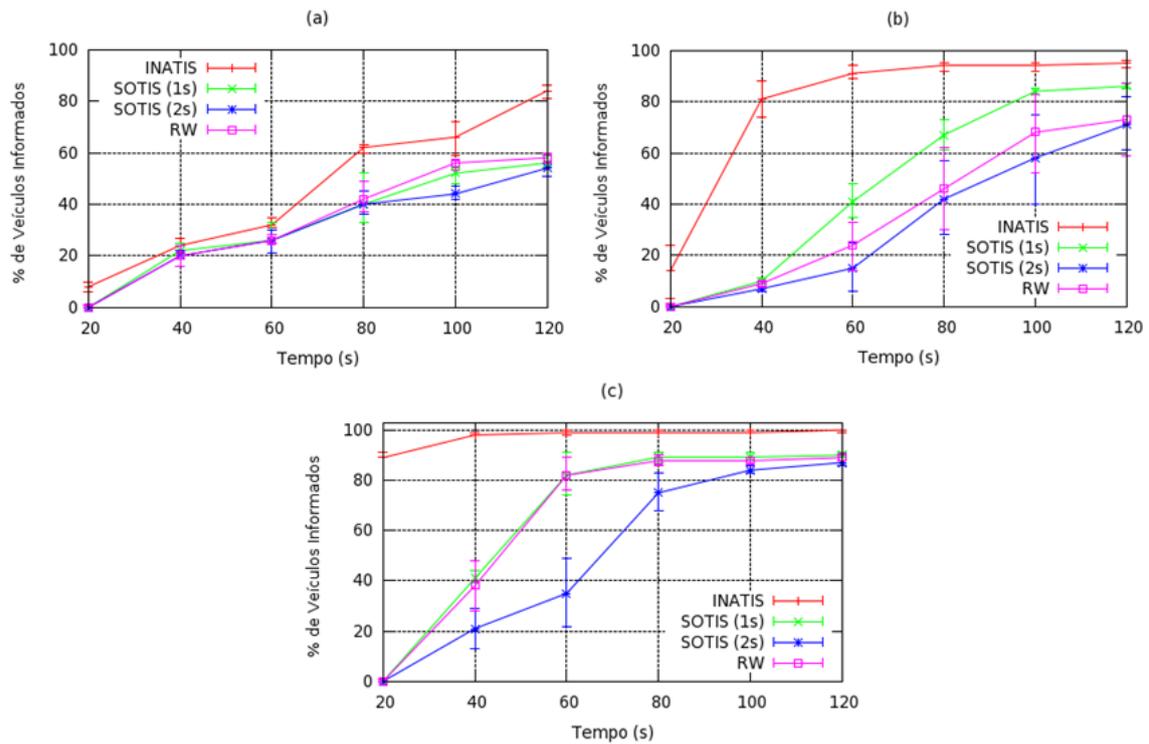


Figura 6.25 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento C para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

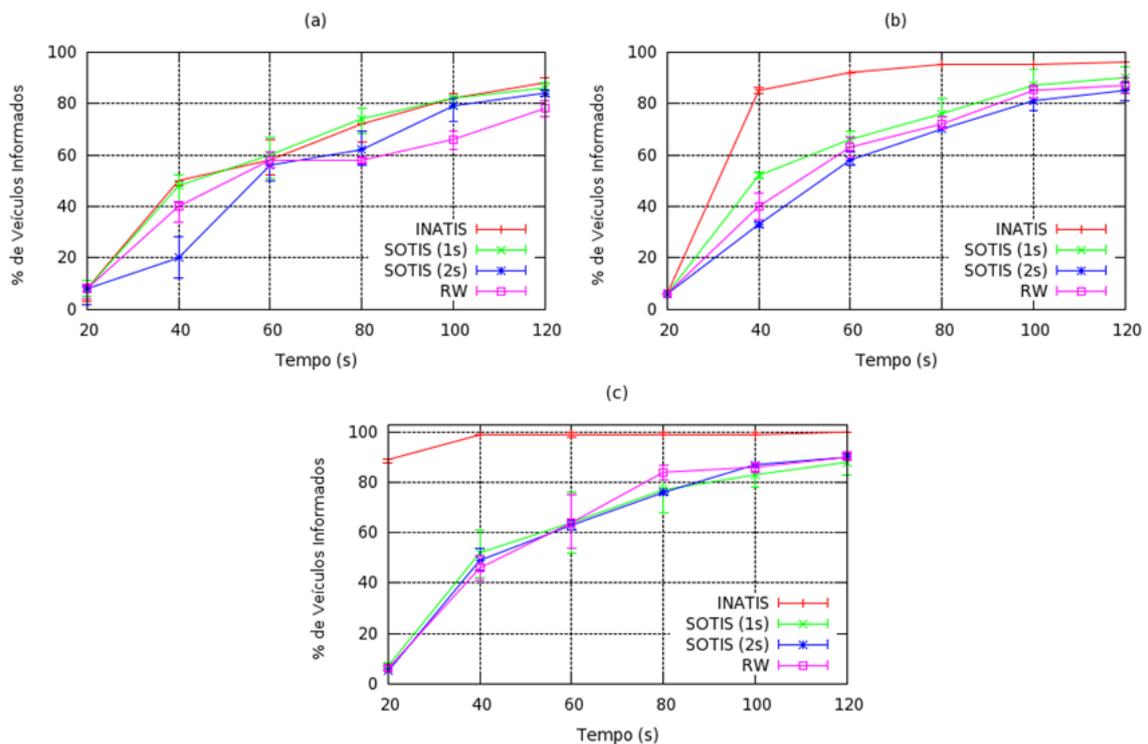


Figura 6.26 – Percentual de veículos informados no tempo usando os esquemas INATIS, SOTIS (1 e 2s) e RW em relação ao segmento D para o cenário de Manhattan (2 km x 2 km) com quantidades de 50 (a), 100 (b) e 150 (c) veículos

De acordo com os resultados obtidos anteriormente, podemos afirmar que as modificações inseridas no componente de disseminação do esquema INATIS impactaram positivamente seu desempenho tanto para os cenários de Manhattan (1 km² e 4 km²) quanto para Roma (1 km²).

- **Desvio Médio**

Assim como nos cenários de 1 km² de dimensão, o desvio médio foi analisado em relação ao segmento que possuiu a maior quantidade de informações de velocidade média disponível. Entretanto, como a dimensão do novo cenário de Manhattan é de 4 km², apenas a quantidade de 150 veículos foi considerada, uma vez que as demais quantidades geraram segmentos com pouca ou nenhuma informação.

A Figura 6.27 mostra o comportamento da velocidade obtido pelo oráculo, para o segmento B do cenário de Manhattan (2 km x 2 km), durante todo o tempo de simulação, e a velocidade obtida pelos esquemas de agregação INATIS e SOTIS(1s), somente do veículo que primeiro recebeu informações sobre esse segmento.

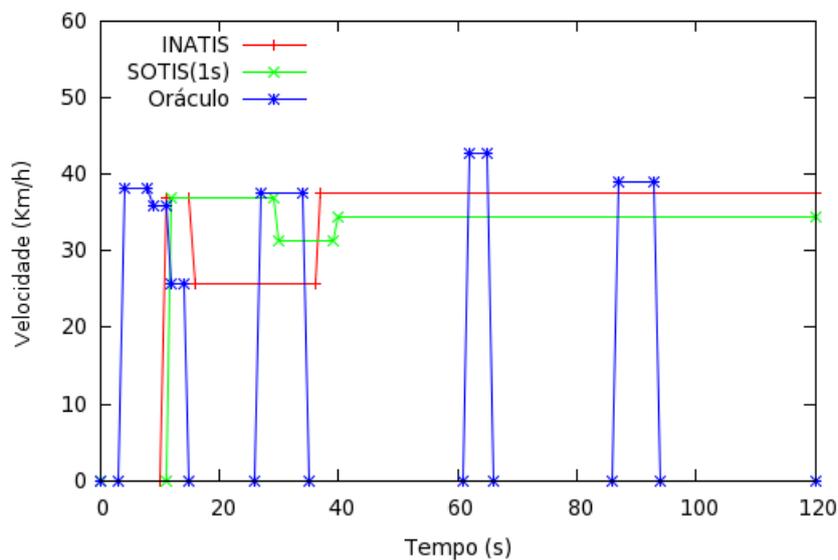


Figura 6.27 – Velocidade observada pelo oráculo e pelos esquemas INATIS e SOTIS (1s) em relação ao segmento B, do cenário de Manhattan (2 km x 2 km), com uma quantidade de 150 veículos

É importante destacar que quando o valor observado pelo oráculo é igual a zero significa que naquele intervalo de tempo nenhum veículo trafegou pelo segmento. Já para os esquemas de agregação, quando o valor observado é igual a zero, significa que nenhuma informação a respeito do segmento está disponível na base de conhecimento local do veículo analisado. Isso faz com que, em diversos momentos, a velocidade estimada pelos esquemas de agregação fique muito distante da velocidade observada pelo oráculo.

A Figura 6.28 mostra o desvio médio obtido pelos esquemas em relação ao segmento B. Conforme citado, os períodos sem informação (velocidade igual zero) no segmento causaram um desvio bastante elevado em relação ao observado pelo oráculo, na maior parte do tempo. Para os períodos em que o segmento possuía alguma informação, o desvio apresentado pelo esquema de agregação INATIS variou entre 3,79% a 31,6% enquanto que SOTIS (1s) apresentou uma variação entre 14,6% a 16,8%. Como podemos observar os esquemas não conseguem lidar com a falta de informação causada pela baixa densidade de veículos, fazendo com que a situação do tráfego não seja corretamente representada.

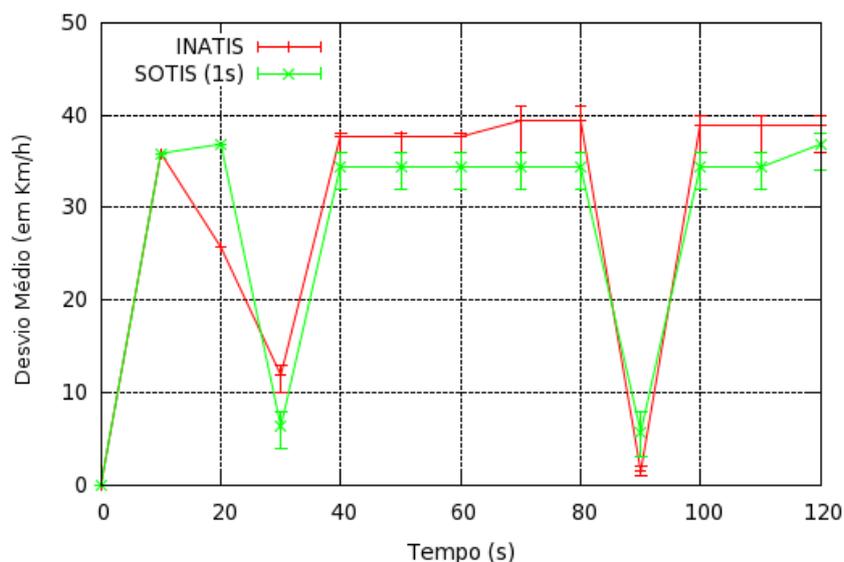


Figura 6.28 – Desvio médio obtido pelos esquemas INATIS ou SOTIS (1s) para o segmento B do cenário de Manhattan (2 km x 2 km) e quantidade de 150 veículos

6.5 Discussão dos Resultados

Analisando todos os resultados referentes ao componente de disseminação, vistos anteriormente, é possível afirmar que a estratégia de utilizar as interseções para disseminar informações de tráfego é muito interessante em cenários urbanos.

Ao mesmo tempo em que a quantidade de mensagens geradas pelo esquema de agregação INATIS conseguiu ser bem inferior à dos demais esquemas avaliados, este manteve uma taxa de notificação igual ou superior a dos demais nos cenários de Manhattan (1 km² e 4 km²), para as diferentes quantidades de veículos analisadas. Para o cenário de Roma, a taxa de notificação do INATIS para a quantidade de 50 veículos não se saiu tão bem quanto SOTIS (1s) e RW, contudo a diferença entre eles se mostrou pequena. Já para as quantidades de 100 e 150 veículos, o INATIS novamente superou os demais esquemas mostrando que a quantidade reduzida de mensagens não influenciou de forma negativa o desempenho do INATIS em relação à quantidade de veículos informados sobre um determinado segmento.

Em relação ao tempo de notificação, mais uma vez a quantidade reduzida de mensagens não prejudicou o esquema INATIS. Esse fato se deve à estratégia de encaminhar imediatamente uma nova informação sobre um segmento, não contida na sua base de conhecimento local, introduzida para aumentar a velocidade de propagação da informação. Os resultados se mostraram bem próximos, para todos os cenários, com uma quantidade de 50 veículos. Novamente, para as quantidades de 100 e 150 veículos, INATIS consegue superar os demais esquemas avaliados.

Quanto aos resultados referentes à qualidade da agregação, em cenários urbanos, utilizar no componente de decisão a segmentação baseada em interseções mostrou ser uma estratégia interessante. Para os cenários de 1 km² (Manhattan e Roma), com uma densidade maior de veículos, o desvio médio obteve valores na faixa de 5 km/h de desvio da representação do oráculo, tanto no SOTIS (1s), esquema que gerou a maior quantidade de mensagens, quanto no INATIS. Entretanto, para o

cenário de Manhattan, com uma área de 4 km², mesmo com uma quantidade de 150 veículos houve instantes em que o segmento analisado esteve livre, fazendo com que os valores do desvio médio desviassem muito da representação do oráculo.

Além disso, nos cenários com 1 km² de área, porém com quantidade de 50 veículos, mesmo não apresentando instantes de segmento livre, tanto SOTIS (1s) quanto INATIS obtiveram resultados bem distantes do esperado. Isso se deve ao fato da informação sobre velocidade média no segmento ainda não estar sendo disseminada.

Embora o esquema INATIS tenha apresentado os maiores percentuais de veículos notificados no menor tempo, principalmente no cenário de Manhattan (1 km²), o desvio médio não se mostrou muito diferente do obtido pelo esquema SOTIS (1s), cujo desempenho foi inferior ao INATIS. Devido ao valor configurado nas simulações para o parâmetro de tempo de expiração de uma informação armazenada na base de conhecimento local do veículo do esquema INATIS, houve uma diminuição na velocidade de propagação a partir da segunda informação gerada para um mesmo segmento, uma vez que o mecanismo de disseminação do INATIS somente encaminha imediatamente informações sobre segmentos que não estão contidos na sua base de conhecimento. Após receber uma segunda informação sobre um mesmo segmento, a agregação ou a substituição ocorrerá, porém a próxima disseminação só acontecerá quando esse veículo alcançar a interseção seguinte.

Finalizando, é possível concluir que as melhorias sugeridas para o esquema de agregação proposto (INATIS) se mostraram promissoras, se considerarmos aplicações como os sistemas de informação de tráfego em cenários urbanos.

7 Conclusões

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado e elenca algumas sugestões sobre possíveis trabalhos futuros.

7.1 Considerações Finais

Este trabalho abordou um tema que tem despertado grande interesse tanto por parte dos pesquisadores quanto por parte da indústria automobilística: a agregação de dados em redes ad hoc veiculares. Em algumas aplicações vislumbradas para VANETs, como os sistemas de informação de tráfego, o uso de algum esquema de agregação de dados é essencial para contornar um dos principais problemas desse tipo de rede, a escalabilidade do sistema devido à limitada largura de banda disponível. Contudo, diversos esquemas de agregação de dados propostos para VANETs desconsideram as características dos cenários urbanos.

Assim, investigou-se a possibilidade de projetar um novo esquema de agregação de dados que fosse capaz de servir como base para aplicações de informação de tráfego urbano, ao considerar as principais características desse cenário.

Foi possível concluir, com base no levantamento feito na literatura, que além de desconsiderarem os cenários urbanos, os esquemas propostos focam em apenas um dos componentes principais, presentes na maioria dos esquemas de agregação, geralmente o componente de decisão. Segundo diversos autores, o componente de

disseminação pode utilizar alguma técnica de disseminação existente sem nenhuma modificação.

Sendo assim, com base nas pesquisas realizadas acerca de agregação e disseminação de dados em VANETs, este trabalho apresentou a proposta de um esquema de agregação de dados intrarrede para cenários urbanos, chamado de INATIS. Este novo esquema é resultante da alteração do componente de decisão do esquema SOTIS, proposto por [Rohling and Busche 2009], substituindo a segmentação de tamanho fixo pela segmentação baseada em interseções, e da alteração do componente de disseminação de tempo fixo por uma disseminação de tempo adaptativo, baseada na proposta de disseminação de mensagens para cenários urbanos feita por [Fogue et al. 2012b]. Essas mudanças tiveram como intuito adaptar o funcionamento do esquema proposto aos cenários urbanos, levando suas características em consideração tanto para o componente de decisão quanto para o de disseminação.

As análises feitas no Capítulo 6 mostraram que o esquema INATIS, de uma forma geral, conseguiu alcançar melhores resultados que os demais esquemas analisados em relação ao componente de disseminação, em todos os cenários avaliados. Já em relação à qualidade da agregação, os resultados mais consistentes foram obtidos somente com uma densidade mais elevada de veículos.

O INATIS teve a menor quantidade de mensagens geradas e ao mesmo tempo alcançou as maiores taxas de notificação e os menores tempos de notificação. Esses resultados comprovaram que as alterações do componente de disseminação aumentaram a eficiência do esquema ao informar mais veículos em menos tempo, gerando menos mensagens na rede.

Considerando a métrica de desvio médio, INATIS obteve resultados bem semelhantes ao SOTIS (1s), que foi o esquema que gerou mais mensagens. Entretanto, em cenários com uma baixa densidade de veículos, a representação

obtida pelos esquemas de agregação mostrou um desvio bem distante da situação real, devido, principalmente, aos instantes em que o dado segmento se encontrava sem nenhum veículo.

Por fim, os resultados obtidos apontaram que as características consideradas no esquema de agregação INATIS tornam seu uso promissor para um sistema de informação de tráfego urbano, uma vez que ele utiliza melhor as características de tais cenários. Cabe ressaltar que, para cenários de rodovia, ajustes precisam ser feitos tanto no mecanismo de disseminação quanto no de decisão, uma vez que características como tamanho dos segmentos e a quantidade de interseções, representada principalmente pelas junções de vias com a rodovia (entradas e saídas), diferem totalmente dos cenários urbanos.

7.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, seria muito interessante avaliar o desempenho da disseminação e a qualidade da agregação em cenários com uma densidade maior de veículos. Principalmente o comportamento do desvio médio.

Avaliar o tempo que uma mensagem deveria permanecer na base de conhecimento local de um veículo até que ela expire também seria de grande importância. Verificar como o desvio médio irá se comportar e como a quantidade de mensagens geradas será afetada ao se utilizar diferentes valores para esse parâmetro.

Outro ponto interessante a se investigar seria como o tráfego gerado por outras aplicações, concorrentes ao esquema de agregação, afetariam o desempenho dos esquemas avaliados.

Referências Bibliográficas

AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., CYIRCI, E. (2002) "Wireless sensor networks: A survey", In: Computer. Network. 38, 393–422, March.

ALVES, R. S.; 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. (2009) "Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios", In: capítulo 5 do livro texto dos mini cursos do SBRC.

BOUKERCHE, A.; OLIVEIRA, H.; NAKAMURA, E.; LOUREIRO, A. (2008) "Vehicular ad hoc networks: A new challenge for localization-based systems", In: Computer Communications, 31(12): 2838-2849.

CABSPOTTING (2014) "CABSPOTTING project", In: <http://cabspotting.org>, acesso em Fevereiro.

COHEN, N. H., PURAKAYASTHA, A., TUREK, J., WONG, L., YEH, D. (2001) "Challenges in flexible aggregation of pervasive data", In: IBM Research Report RC 21942 (98646), IBM Research Division, Yorktown Heights, NY, January.

CRAWDAD (2014) "A Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth", In: <http://crawdad.cs.dartmouth.edu>, acesso em Fevereiro.

CRUZ, E.(2012) "O Uso de Filtros de BLOOM em um Protocolo Baseado na Métrica de Ou-Exclusivo em Redes Veiculares Urbanas", Dissertação de Mestrado – UNIRIO, Rio de Janeiro, Brazil.

DIETZEL S., BAKO B., SCHOCH E., KARGL F. (2009a) "A fuzzy logic based approach for structure-free aggregation in vehicular ad-hoc networks", In: Proceedings of the sixth ACM international workshop on Vehicular Internetworking, VANET, p.79 88. NewYork, NY, USA.

DIETZEL S., KARGL F., HEIJENK G. (2011) "Modeling In-Network Aggregation in VANETs", In: IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 11, pp. 142-148.

DIETZEL S., SCHOCH E., BAKO B., KARGL F. (2009b) "A Structure-free Aggregation Framework for Vehicular Ad Hoc Networks", In: Proceedings of the 6th International Workshop on Intelligent Transportation, p.61 66. Hamburg, Germany.

DIETZEL, S., KARGL, F., HEIJENK, G., SCHAUB, F. (2010) "On the potential of generic modeling for VANET data aggregation protocols", In: IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 78 – 85. Jersey City, NJ.

DIETZEL, S., PETIT, J., KARGL, F., SCHEUERMANN, B. (2014) "In-Network Aggregation for Vehicular Ad Hoc Networks" In: Communications Surveys & Tutorials, IEEE, no.99, pp.1 – 24.

ETSI. (2010) "Intelligent Transport Systems (ITS)" In: Vehicular Communications, Basic Set of Applications, Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service.

ETSI. (2011) "Intelligent Transport Systems (ITS)" In: Vehicular Communications, Basic Set of Applications, Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service.

FAN, K., LIU, S., SINHA, P. (2006) "On the potential of structure-free data aggregation in sensor networks", In: Proceedings of INFOCOM 2006, pages 1–12, April.

FAN, K., LIU, S., SINHA, P. (2007) "Structure-free data aggregation in sensor networks.", In: Mobile Computing, IEEE Transactions on, 6(8):929–942, August.

FAOUZI, N., LEUNG, H., KURIAN, A. (2011) "Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges – A survey", In: Information Fusion, Volume 12, Issue 1, Pages 4-10, January.

FIORE, M.; UPPOOR, S. (2011) "Large-scale Urban Vehicular Mobility for Network Research", In: IEEE VNC 2011, Amsterdam, The Netherlands, pp. 62 – 69 November.

FOGUE, M., GARRIDO, P., MARTINEZ, F., CANO, J., CALAFATE, C., MANZONI, P. (2013) "Identifying the Key Factors Affecting Warning Message Dissemination in VANET Real Urban Scenarios", In: Sensors, 13, 5220-5250.

FOGUE, M., GARRIDO, P., MARTINEZ, F., CANO, J., CALAFATE, C.; MANZONI, P. (2012a) "A Realistic Simulation Framework for Vehicular Networks", In: Proceedings of the 5th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools 2012), Desenzano, Italy, 19–23; pp. 39–46, March.

FOGUE, M., GARRIDO, P., MARTINEZ, F., CANO, J., CALAFATE, C.; MANZONI, P. (2012b) "Evaluating the impact of a novel message dissemination scheme for Vehicular Networks using real maps", In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 25, 61–80.

FUJIKI, T., KIRIMURA, M., UMEDU, T., HIGASHINO, T. (2007) "Efficient acquisition of local traffic information using inter-vehicle communication with queries" In: Proc. IEEE Intelligent Transportation Sys. Conf. (ITSC), Seattle, WA, pp. 241–246, September.

HEIJDEN, R., DIETZEL, S., KARGL, F. (2013) "SeDyA : Secure Dynamic Aggregation in VANETs", In: Conference on Security and privacy in wireless and mobile networks (WiSec), Budapest, Hungary, pp. 17-19, April.

IBRAHIM, K., WEIGLE, M. (2008) "CASCADE : Cluster-based accurate syntactic compression of aggregated data in VANETs", In: IEEE International Workshop on Automotive Networking and Applications (AutoNet), IEEE GLOBECOM Workshop, New Orleans, LA.

IEEE. (2012) "IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)", In: IEEE Standard 1069.*.

INTANAGONWIWAT, C., GOVINDAN, R., ESTRIN, D., HEIDEMANN, J., SILVA, F. (2003) "Directed diffusion for wireless sensor networking", In: IEEE/ACM Transactions on Networking 11, 2–16, February.

ISI (2014) "NS-2 network simulator", In: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, acesso em: Setembro.

KATTI, S., RAHUL, H., HU, W., KATABI, D., MEDRAD, M., CROWCROFT, J. (2008) "XORs in the air: Practical wireless network coding", In: IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 16, no. 3, pp. 497–510, June.

KONG, F., TAN, J. (2008) "A Collaboration-based Hybrid Vehicular Sensor Network Architecture", In: International Conference on Information and Automation, 20-23, Zhangjiajie, China, June.

KOSCH, T., ADLER, C.J., EICHLER, S., SCHROTH, C., STRASSBERGER, M. (2006) "The scalability problem of vehicular ad hoc networks and how to solve it", In: IEEE Wireless Communications, Volume:13, Issue: 5, pp. 22 – 28.

KRAJZEWICZ, D.; HERTKORN, G.; ROSSEL, C.; WAGNER, P. (2002) "SUMO (Simulation of Urban MObility) - An Open-Source Traffic Simulation", In: Proceedings of the 4th International Middle Eastern Simulation Multiconference, Sharjah, United Arab Emirates, pp. 183–187, October.

MADDEN, S. R., FRANKLIN, M. J., HELLERSTEIN, J. M., HONG, W. (2005) "TinyDB: An acquisitional query processing system for sensor networks", In: ACM Transactions on Database Systems, 30, 122–173, March.

MARTINEZ, F., FOGUE, M., COLL, M., CANO, J., CALAFATE, C., MANZONI, P. (2010) "Evaluating the Impact of a Novel Warning Message Dissemination Scheme for VANETs Using Real City Maps", In: 9th International IFIP TC 6 Networking Conference, Chennai, India, May 11-15,

NAIR, R., SOH, B., CHILAMKURTI, N., PARK, J. (2013) "Structure-free message aggregation and routing in traffic information system (SMART)", In: Journal of Network and Computer Applications, Volume 36, Issue 3, Pages 974-980, May.

NAKAMURA, E., F., (2007) "Fusão de Dados em Redes de Sensores Sem Fio", Tese de Doutorado – UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

NI, S., TSENG, Y., CHEN, Y., SHEU, J. (1999) "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," In: Proc. ACM Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), Seattle, WA, pp. 151–162.

NSNAM, (2014) "NS-3 network simulation", In: <http://www.nsnam.org>, acesso em Setembro.

OSM. (2014) "Open Street Map project", In: <http://www.openstreetmap.org>, acesso em Fevereiro.

PANICHPAPIBOON, S., PATTARA-ATIKOM, W. (2012) "A Review of Information Dissemination Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks," In: *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol.14, no.3, pp.784,798.

PICCONI, F., RAVI, N., GRUTESER, M., IFTODE, L. (2006) "Probabilistic validation of aggregated data in vehicular ad-hoc networks", In: VANET '06: Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, pages 76–85, September.

RAPPAPORT, T. S. (1996) "Wireless communications, principles and practice", Prentice Hall.

ROHLING, H., BUSCHE, H. (2009) "SOTIS: A self-organizing traffic information system based on car-2-car communications", In: Workshop on Self-Organising Wireless Sensor and Communication Networks, Hamburg, Germany, pp. 2442 – 2446, October.

SCHEUERMANN, B., LOCHERT, C., RYBICKI, J., MAUVE, M. (2009) "A fundamental scalability criterion for data aggregation in VANETs", In: Proceedings of the 15th annual international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '09, New York, NY, USA, page 285.

SCHOCH, E., KARGL, F., WEBER, M. (2008) "Communication patterns in vanets.", In: IEEE Communications Magazine, 46(11):119.

SHOAIB, M., SONG, W. (2012) "Data aggregation for Vehicular Ad-hoc Network using particle swarm optimization", In: Network Operations and Management Symposium (APNOMS), pp. 25-27, Seoul, September.

STEINBERG, A. N., BOWMAN, C. L., WHITE, F. E. (1999) "Revisions to the JDL data fusion model", In: Proceedings of the International Society for Optical Engineering, Orlando, FL, USA.

STIBOR, L.; ZANG, Y.; REUMERMAN, H. J. (2007) "Neighborhood evaluation of vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p", In Proceedings of The 8th European Wireless Conference, p. 5, Paris, France, April.

SUMO (2014) "Simulation of Urban Mobility", In: <http://sumo-sim.org>, acesso em Fevereiro.

TAL, I., MUNTEAN, G. (2012) "Using Fuzzy Logic for Data Aggregation in Vehicular Networks", In: IEEE/ACM 16th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, Washington, DC, USA, pp. 151-154.

TOOR, Y; MÜHLETHALER, P.; LAOUITI, A.; FORTELLE, A. (2008) "Vehicle Ad Hoc Networks: Applications and Related Technical Issues", In: IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 10 (3), pp. 74-88.

TRIPP, C., MATEOS, M., REGAÑAS, P., MEZHER, A., AGUILAR, M. (2012) "Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights", In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'12), Alcala de Henares, pp. 902–907, June.

VIRIYASITAVAT, W.; BAI, F.; TONGUZ, O. K. (2011) "Dynamics of Network Connectivity in Urban Vehicular Networks", In: IEEE journal, Volume:29 , Issue: 3, pp. 515 – 533, February.

WANG, S., CHOU, C. (2009) "NCTUns Tool for Wireless Vehicular Communication Network Researches", In: Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 17, No. 7, pp. 1211-1226, August.

YU, B., XU, C., GUO, M. (2012) "Adaptive Forwarding Delay Control for VANET Data Aggregation", In: IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Volume:23, Issue: 1, pp. 11 – 18, January.

YU, Q., HEIJENK, G. (2008) "Abiding geocast for warning message dissemination in vehicular ad hoc networks," In: Proc. IEEE Int'l Conf. on Comm. (ICC), Beijing, China, May, pp. 400–404.

ZHONG, T., XU, B., WOLFSON, O. (2008) "Disseminating real-time traffic information in vehicular ad-hoc networks," In: Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp. (IV), Eindhoven, The Netherlands, June, pp. 1056–1061.