

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

**Estratégia adaptativa para disseminação de dados usando a
força do sinal**

Claudio Correa

Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências de
Computação e Matemática Computacional (PPG-CCMC)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Claudio Correa

Estratégia adaptativa para disseminação de dados usando a força do sinal

Tese apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional. *VERSÃO REVISADA*

Área de Concentração: Ciências de Computação e Matemática Computacional

Orientador: Prof. Dr. Jó Ueyama

USP – São Carlos
Fevereiro de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

C824e Correa, Claudio
 Estratégia adaptativa para disseminação de dados
 usando a força do sinal / Claudio Correa; orientador
 Jó Ueyama. -- São Carlos, 2019.
 188 p.

 Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
 Ciências de Computação e Matemática Computacional) --
 Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,
 Universidade de São Paulo, 2019.

 1. VANET. 2. Fuzzy. 3. Congestionamento. 4.
 Potência do sinal. 5. Estratégia adaptativa. I.
 Ueyama, Jó, orient. II. Título.

Claudio Correa

Adaptive strategy for data dissemination using signal
strength

Doctoral dissertation submitted to the Institute of Mathematics and Computer Sciences – ICMC-USP, in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Doctorate Program in Computer Science and Computational Mathematics. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Prof. Dr. Jó Ueyama

USP – São Carlos
February 2019

*Este trabalho é dedicado para Clarice ... e
aos equilibrados, perseverantes e resilientes*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, Anelise, como pessoa, pelo companheirismo, paciência, tolerância com as ausências e o compartilhamento das inúmeras noites em claro. Também, por todo amparo e cuidados de saúde realizados.

À minha mãe, Dna. Maria, certamente a origem das maiores lições de persistência e resiliência que recebi.

Aos familiares, sempre receptivos e preparados para auxiliar. Carinhosamente, aos sobrinhos Ana Beatriz *"baguncinha"* e Otávio, gatilhos para um outro universo.

Agradecimentos especiais aos amigos de longa data Claudio Faria, Fabiano C. Teixeira, Iran C. Abrão, João Benedito dos Santos Jr., João Carlos de M. Morselli Jr., Luciana De Nardin, Luiz Alberto F. Gomes, Marcio Leandro Gonçalves, Neil P. Tizzo, Sonia Maria B. B. Correa. Udo Fritzke Jr., Will Ricardo dos S. Machado e aos que em algum momento também integraram esse grupo.

Ao curso de [Ciência da Computação](#) da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais ([PUC Minas](#)) e seus discentes, de ontem e de hoje. Especificamente, ao Prof. Sérgio de M. Hanriot na Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação.

Aos meus orientadores, Jô Ueyama e Rodolfo I. Meneguette.

Aos médicos Dr. Frederico Perego Costa, Dr. Marcel Autran C. Machado e Helena Maria L. Barbosa, pela excelência no exercício da profissão.

*"A little inaccuracy sometimes saves tons
of explanation."
(H. H. Munroe, "Saki")*

RESUMO

CORREA, C. **Estratégia adaptativa para disseminação de dados usando a força do sinal**. 2019. 188 p. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

Rede *Ad hoc* Veicular (VANET) é um subconjunto singular das redes *ad hoc* móveis (MANET), com o diferencial de que os nós são veículos providos de tecnologia própria de comunicação e que interagem para formar redes espontâneas, valendo-se de pouca ou nenhuma infraestrutura estabelecida previamente. VANETs admitem a integração de diferentes tecnologias sem fio na pretensão de mitigar adversidades, agregar segurança e eficiência ao tráfego. Na disseminação de dados, um salto único é suficiente para orientar os elementos ao alcance do sinal de rádio, e nós intermediários sustentam a comunicação aos demais, em encaminhamento *multihop*. Amparados em dispositivos embarcados, os veículos produzem registros, detectam sinais, trocam advertências e métricas. Avaliações dessas informações permitem ao condutor decisões ou reações antecipadas em situações adversas, a exemplo dos acidentes ou congestionamentos. Nesse contexto, a execução deste trabalho trata questões para elaborar estratégias adaptativas inteligentes de disseminação de dados, uma vez que as mesmas se consolidam como lastros da comunicação em VANET com condições adversas de operação. A abordagem proposta se utiliza de sistemas *fuzzy* para a detecção de congestionamento, com o propósito de agregar autonomia e adaptar a estratégia de disseminação às condições de tráfego identificadas. A convergência nos desenvolvimentos realizados se reflete na estratégia eFIRST, uma solução robusta para a detecção autônoma da condição atual de congestionamento que resguarda a disseminação adaptativa de alertas e abranda o problema da interrupção no tráfego. A abordagem se sustenta apenas na comunicação entre veículos e nos registros de identificação da vizinhança local, agregados em uma estratégia *fuzzy* e no ajuste adaptativo da potência do sinal de transmissão. Em conformidade com as tendências de condução e com os sistemas inteligentes, este desenvolvimento contribui com subsídios para ratificar a aproximação *fuzzy* como estratégia adaptativa às flutuações na densidade veicular, em diferentes cenários e regimes de tráfego. As avaliações comparativas do eFIRST respaldam concluir que a estratégia oportuniza o equilíbrio otimizado das perdas, colisões e cobertura, com superior alcance de propagação e redução dos congestionamentos.

Palavras-chave: VANET, Redes *ad hoc* veiculares, Sistema adaptativo *fuzzy*, Estratégia inteligente, Comunicação veicular, Congestionamento, Densidade veicular.

ABSTRACT

CORREA, C. **Adaptive strategy for data dissemination using signal strength**. 2019. 188 p. Tese (Doutorado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

Vehicular *Ad hoc* Network (**VANET**) is a unique subset of mobile *ad hoc* networks (**MANET**), with the difference that nodes are vehicles provided with their own communication technology and interact to form spontaneous networks, with little or no infrastructure previously established. **VANETs** support the integration of different wireless technologies in order to mitigate adversities, add security and efficiency to traffic. In the data dissemination, a single hop is sufficient to guide the elements within reach of the radio signal, and intermediary nodes support the communication with the others in *multihop* routing. Supported by embedded devices, vehicles produce records, detect signals, exchange warnings and metrics. Assessments of this information allow the driver to make decisions or react beforehand in adverse situations, such as accidents or traffic congestions. From the observations in this context, this work deals with questions to elaborate intelligent adaptive strategies in data dissemination, since they consolidate themselves as ballast communication in **VANET** with adverse operating conditions. The proposed approach uses *fuzzy* systems to detect traffic congestion, with the purpose of aggregating autonomy and adapting the dissemination strategy to the identified traffic conditions. The convergence in the developments performed is reflected in the **eFIRST** strategy, a robust solution for the autonomous detection of the current traffic congestion condition that protects the adaptive dissemination of alerts and reduces the problem of the interruption in the traffic. The approach is supported only by communication between vehicles and in local neighborhood identification records, aggregated in a *fuzzy* strategy and in the adaptive adjustment of transmission signal power. In accordance with the driving trends and with the intelligent systems, this development contributes with assistance for ratify the *fuzzy* approach as an adaptive strategy to fluctuations in vehicular density in different scenarios and traffic regimes. Comparative evaluations of **eFIRST** support the conclusion that the strategy favors the optimal balance of losses, collisions and coverage, with a greater range of propagation and reduction of congestion.

Keywords: **VANET**, *ad hoc* vehicular networks, *fuzzy* adaptive system, intelligent strategy, vehicular communication, traffic congestion, vehicular density.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frota de veículos no Brasil	34
Figura 2 – Sistemas de assistência ao condutor	42
Figura 3 – Comunicação V2V direta, indireta e com RSU	43
Figura 4 – Arquiteturas de comunicação em VANET	45
Figura 5 – Rede <i>ad hoc</i> Veicular - VANET	46
Figura 6 – Acidente rodoviário. Veículos que se aproximam enviam alerta de emergência por intermédio da estação base para evitar mais acidentes	47
Figura 7 – Espectro de frequências DSRC reservado pela FCC	49
Figura 8 – WAVE	50
Figura 9 – WAVE, GeoNet e CALM	52
Figura 10 – Protocolos de roteamento em VANET	57
Figura 11 – Representação do conceito adolescente por meio de conjuntos <i>crisp</i> e nebuloso	65
Figura 12 – Formas de representação do conjunto <i>fuzzy</i>	66
Figura 13 – Altura, suporte, núcleo, corte de nível e cardinalidade	68
Figura 14 – Conjuntos nebulosos A e B	69
Figura 15 – Operações em conjuntos <i>fuzzy</i>	70
Figura 16 – Perfis das principais t-normas e t-conormas duais	70
Figura 17 – Operadores de implicação mais usuais, com $I(\alpha, \mu_B(y))$	71
Figura 18 – Componentes de um sistema <i>fuzzy</i>	73
Figura 19 – <i>Velocidade</i> representada com termos linguísticos e o grau de pertinência	74
Figura 20 – Variáveis mapeadas com conjuntos restritos de termos nebulosos . .	76
Figura 21 – Inferência no sistema <i>fuzzy</i>	78
Figura 22 – Resposta <i>fuzzy</i> para a regra 1 do Algoritmo 7	80
Figura 23 – Resposta <i>fuzzy</i> para a regra 3 do Algoritmo 7	81
Figura 24 – Resposta <i>fuzzy</i> para a regra 5 do Algoritmo 7	82
Figura 25 – Resposta <i>fuzzy</i> para a regra 7 do Algoritmo 7	83
Figura 26 – Contribuições das inferências <i>fuzzy</i> agregadas no consequente . . .	84
Figura 27 – Conjunto <i>fuzzy</i> $Su(Z)$ de resposta no procedimento de inferência . .	85
Figura 28 – <i>Defuzzificação</i> por meio do centro de gravidade (CoG)	86
Figura 29 – Superfície simplificada de mapeamento do congestionamento	87
Figura 30 – Zonas de preferência para retransmissão	106
Figura 31 – Arquitetura do arcabouço de simulação	113

Figura 32 – Interface Veins	114
Figura 33 – Alerta de acidente	118
Figura 34 – Sistema <i>fuzzy</i> para identificação de congestionamento	121
Figura 35 – Superfície de congestionamento no eFIRST	122
Figura 36 – TxPower (<i>mW</i>)	123
Figura 37 – <i>Sweet spots</i> otimizados para retransmissão	124
Figura 38 – Estratégia eFIRST fracionada em etapas	132
Figura 39 – Alertas monitorados na rodovia	136
Figura 40 – Mensagens de alerta perdidas	137
Figura 41 – Colisões	138
Figura 42 – Cobertura	139
Figura 43 – Atraso	140
Figura 44 – Distância média para um salto	141
Figura 45 – Distância de deslocamento da mensagem	142
Figura 46 – Nível de congestionamento	143
Figura 47 – Adequação na potência do sinal	144
Figura 48 – Grid Manhattan	145
Figura 49 – Nível de congestionamento no grid	148
Figura 50 – Colisões registradas no grid	149
Figura 51 – Resposta de cobertura para o grid	150
Figura 52 – Distância de propagação do alerta no grid	152
Figura 53 – Relação entre alertas gerados e recebidos no grid	153
Figura 54 – Ajuste na potência de transmissão para o grid	154

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Estrutura de construção de uma regra	75
Algoritmo 2 – Estrutura da regra MIMO	76
Algoritmo 3 – Estrutura da regra MISO	77
Algoritmo 4 – Regras ativadas com $x_0 = 70$ e $y_0 = 40$	77
Algoritmo 5 – Funções de pertinência na implicação	79
Algoritmo 6 – Função de pertinência no conseqüente das regras	79
Algoritmo 7 – Pertinências nos conseqüentes	80
Algoritmo 8 – Aplicação do operador $max (\vee)$	81
Algoritmo 9 – Identificação da estrutura e método de envio dos <i>beacons</i>	125
Algoritmo 10 – Classificação do nível de congestionamento local	126
Algoritmo 11 – Cálculo do coeficiente de tempo para postergar uma retransmis- são com base no nível de congestionamento	128
Algoritmo 12 – Mecanismo de armazenamento e transporte (SCF)	129
Algoritmo 13 – Método de recepção de <i>beacon</i>	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Veículos fabricados e emplacados no Brasil	33
Tabela 2 – Características de protocolos clássicos para roteamento em VANET .	59
Tabela 3 – Principais t-normas e t-conormas duais	69
Tabela 4 – Principais operadores de implicação	71
Tabela 5 – Variáveis descritas por meio de termos linguísticos	75
Tabela 6 – Regras de inferência de congestionamento ativadas	78
Tabela 7 – Abordagens para monitoramento e detecção de tráfego veicular . .	102
Tabela 8 – Comparação qualitativa entre estratégias de disseminação de dados	108
Tabela 9 – Parâmetros de simulação para a configuração de rodovia	119
Tabela 10 – Momento do acidente para cada tráfego observado	120
Tabela 11 – Parâmetros de simulação para a configuração de trajeto urbano . . .	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	Terceira Geração 44, 46
4G	Quarta Geração 44, 46
ADDHV	<i>Autonomic Data Dissemination in Highway for VANETs</i> 61, 107, 110, 158
AID	<i>adaptive Approach for Information Dissemination</i> 101, 102, 147, 158
AMB	<i>Ad hoc Multihop Broadcast</i> 58
ANN	<i>Artificial Neural Network</i> 35, 100, 156
AODV	<i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i> 56, 57, 97
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> 49
BSS	<i>Basic Service Set</i> 50
C2CCC	<i>Car2Car Communication Consortium</i> 91
CALM	<i>Communications Access for Land Mobiles</i> 51, 52
CAM	<i>Cooperative Awareness Messages</i> 98
CARTIM	<i>Cooperative vehicular Traffic congestion Identification and Minimization</i> 99, 135–137, 139, 141–143, 147–149, 151
CBF	<i>Contention-Based Forwarding</i> 60, 92
CBT	<i>Channel Busy Time</i> 100
CI	<i>Computational Intelligence</i> (Inteligência Computacional) 71
CoA	<i>Centro da Área</i> 83, 85–87
COC	<i>Content Oriented Communications</i> 94
CoG	<i>Centro de Gravidade</i> 15, 82, 83, 86
CoTEC	<i>COperative Traffic congestion detECTION</i> 98, 99
CTA	<i>Cooperative Traffic Alert</i> 149
CTE	<i>Cooperative Traffic Estimation</i> 98, 99
DBRS	<i>Distance Based Relay node Selection</i> 103, 105, 147, 158
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito 33
DRIVE	<i>Data dissemination pRotocol In VEhicular networks</i> 61
DSDV	<i>Destination Sequence Distance Vector</i> 56

DSR *Dynamic Source Routing* 56, 57

DSRC *Dedicated Short Range Communications* 15, 36, 48–51

DTN *Delay and Disruption Tolerant Network* 92, 93

DV-CAST *Distributed Vehicular BroadCAST* 104, 105

ECU *Electronic Control Unit* (Unidade de Controle Eletrônico) 43

eFIRST *Embedded Fuzzy Identification and Regulation System for Transmission* 11, 13, 16, 36, 38, 39, 71, 74, 89, 101, 102, 108, 116, 120, 122, 123, 125–127, 130–135, 137–144, 147–153, 156–159, 179

ETSI *European Telecom Standardization Institute* 51

EWM *Emergency Warning Message* 103, 104

FCC *Federal Communications Commission* 15, 48, 49

FCL *Fuzzy Control Language* 115

FIS *Fuzzy Inference System* 115, 156, 183

FOX *Fast Offset Xpath* 100

GEDDAI *GEographical Data Dissemination for Alert Information* 105–107

GHM *Group Header Multicast* 59

GPS *Global Positioning System* 55, 60, 92–95, 104, 108, 121

GPSR *Greedy Perimeter Stateless Routing* 58

GUI *Graphics User Interface* 183

HCM *Highway Capacity Manual* 117, 120

HSPA *High-Speed Packet Access* 44

ID *Unique Identifier* 95

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers* 30, 37, 44, 46, 48–51, 56, 60, 91–93, 96, 97, 99, 104, 114, 116, 135, 136, 146, 157, 159, 179–181

IETF *Internet Engineering Task Force* 31

INCIDEnT *INtelligent protocol of CongestIon DETection* 100

IP *Internet Protocol* 50, 56, 178

IPv4 *Internet Protocol Version 4* 177

IrDA *Infrared Data Association* 46

ISO *International Standard Organization* 51

ITS *Intelligent Transportation Systems* 29–32, 34–36, 42, 44, 45, 47, 53–55, 89, 91, 100, 110, 159

IVC	<i>Inter-Vehicle Communications</i> 114
IVG	<i>Inter-Vehicle Geocast</i> 60
LBM	<i>Location-Based Multicast</i> 60
LTE	<i>Long Term Evolution</i> 44
MAC	<i>Media Access Control</i> 48–52, 61, 119
MANET	<i>Mobile Ad hoc Networks</i> 11, 13, 30, 32, 35, 42, 54, 56, 57, 60, 91
MAODV	<i>Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector</i> 59
MDDV	<i>Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm</i> 58
MHVB	<i>Enhanced Multihop Vehicular Broadcast</i> 58
MIMO	<i>Multiple Input and Multiple Output</i> 17, 76
MISO	<i>Multiple Input and Single Output</i> 17, 76, 77
MOLSR	<i>Multicast Optimized Link State Routing</i> 59
NaN	<i>Not a Number</i> 33
ODMRP	<i>On-Demand Multicast Routing Protocol</i> 59
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> 92
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i> 56
PBM	<i>Position-Based Multicast</i> 59
PBR	<i>Position-Based Routing</i> 90
PDR	<i>Packet Delivery Ratio</i> 100, 101
PHY	<i>Physical Layer</i> 49–51
RBM	<i>Role-Based Multicast</i> 60
ROI	<i>Region of Interest</i> 60, 61, 91, 96, 105, 109, 127, 134, 138, 139, 147
RSGM	<i>Robust and Scalable Geographic Based Multicast</i> 60
RSU	<i>Road Side Unit</i> 15, 30, 42–44, 54, 92, 100, 104, 105, 159
RTT	<i>Round Trip Time</i> 178
SB	<i>Smart Broadcast</i> 58
SCF	<i>Store-Carry-Forward</i> 17, 42, 44, 104, 105, 107, 108, 129
SPBM	<i>Scalable Position Based Multicast</i> 59
SRD	<i>Simple and Robust Dissemination</i> 104, 105, 147, 158
SUMO	<i>Simulation of Urban MObility</i> 113, 114
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i> 117

TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> 50, 51, 56, 58, 177
TTL	<i>Time to Live</i> 128, 131, 138, 150
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> 51
UMB	<i>Urban Multihop Broadcast</i> 58
USDOT	<i>U.S. Department of Transportation</i> 90
V2I	<i>Comunicações Veículo-a-Infraestrutura</i> 30, 32, 43, 44, 46, 48, 53, 92, 117
V2R	<i>Comunicações Veículo-a-Road Side Unit</i> 43
V2S	<i>Comunicações Veículo-a-Sensores</i> 43
V2V	<i>Comunicações Veículo-a-Veículo</i> 15, 30, 32, 35, 37, 43, 44, 46, 48, 53–55, 59, 61, 90–95, 98, 99, 102, 105, 108, 114, 118, 121, 123, 125, 140–142, 156, 157
VAB	<i>VANET Adaptive Beaconing Based on Fuzzy Logic</i> 100
VANET	<i>Vehicular Ad hoc Network</i> 11, 13, 15, 19, 21, 24, 30–38, 41–51, 53–62, 72, 86, 87, 89–97, 99–102, 104, 105, 107, 109–112, 116, 150, 155, 157–159, 179
VANT	<i>Veículo Aéreo Não Tripulado</i> 45
Veins	<i>Vehicles in Network Simulation</i> 16, 114
VOTING	<i>Vehicular Over-The-Air Traffic Information Gathering</i> 95
VSC	<i>Vehicle Safety Communications</i> 92
V-TRADE	<i>Vector-Based TRacking DETection</i> 58
WAVE	<i>Wireless Access in Vehicular Environments</i> 30, 46–52, 56, 92, 157
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> 92, 178
WSMP	<i>Wave Short Message Protocol</i> 51
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i> 31

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω — Universo de discurso

μ — Função de pertinência

α — Corte de nível

\mathfrak{R} — Conjunto dos números reais

\in — Relação de pertinência

∞ — Infinito

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Justificativa	31
1.2	Contexto e Motivação	32
1.3	Objetivos	36
1.4	Organização do Documento	38
2	REDE AD HOC VEICULAR - VANET	41
2.1	Arquiteturas em Redes Veiculares	44
2.2	Tecnologias de Comunicação em VANET	46
2.3	Padrão IEEE 802.11p da Tecnologia de Comunicação em VANET (DSRC/WAVE)	48
2.3.1	<i>Comunicações de Curto Alcance Dedicadas - DSRC</i>	48
2.3.2	<i>Acesso Sem Fio em Ambiente Veicular - WAVE</i>	49
2.3.2.1	<i>Padrão IEEE 1609</i>	50
2.3.2.2	<i>Protocolo de mensagens curtas WAVE - WSMP</i>	51
2.3.2.3	<i>Outras arquiteturas</i>	51
3	DIFUSÃO DE DADOS EM VANET	53
3.1	Métodos de Comunicação V2V	53
3.2	Estratégias de Roteamento e Disseminação para as VANET	56
3.2.1	<i>Desafios na Disseminação</i>	60
4	LÓGICA FUZZY	63
4.1	Conceitos Básicos para a Teoria dos Conjuntos Nebulosos	64
4.1.1	<i>Definições Gerais</i>	66
4.1.2	<i>Operações em Conjuntos Nebulosos</i>	68
4.1.2.1	<i>Operadores de intersecção, união e complemento</i>	68
4.1.2.2	<i>Operadores de Implcação</i>	70
4.2	Sistemas Nebulosos	72
4.2.1	<i>Interface de Fuzzificação</i>	74
4.2.2	<i>Base de Conhecimento</i>	74
4.2.3	<i>Procedimento de Inferência</i>	77
4.2.4	<i>Interface de Defuzzificação</i>	82

5	TRABALHOS RELACIONADOS	89
5.1	Trabalhos de Contextualização	90
5.2	Identificação de Congestionamento	93
5.2.1	<i>Identificação de Congestionamento com Lógica Fuzzy</i>	97
5.3	Protocolos de Referência para a Disseminação	101
6	ESTRATÉGIA EFIRST	109
6.1	Método	111
6.1.1	<i>Avaliação</i>	112
6.1.2	<i>Limitações</i>	115
6.2	Avaliação de Desempenho	116
6.2.1	<i>Metodologia</i>	116
6.2.2	<i>Algoritmos para a Detecção do Congestionamento e Adequação da Transmissão</i>	125
6.2.3	<i>Métricas de Avaliação</i>	133
6.2.4	<i>Curvas de Resultados das Avaliações</i>	134
6.2.4.1	<i>Traçado de rodovia</i>	134
6.2.4.2	<i>Traçado urbano</i>	145
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
7.1	Contribuições	156
7.2	Publicações Geradas	158
7.3	Trabalhos Futuros	158
	REFERÊNCIAS	161
	GLOSSÁRIO	177
APÊNDICE A	PRODUÇÃO CIENTÍFICA	179
APÊNDICE B	SISTEMA <i>FUZZY</i> : LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO (FIS) PARA UM EXEMPLO ILUSTRATIVO	183

INTRODUÇÃO

A sociedade moderna sofre as penalidades do descompasso entre o persistente aumento na quantidade de veículos trafegando (DENATRAN, 2018) e a estagnação da malha viária. Em termos nacionais, essa disparidade é catalisada através de incentivos fiscais à indústria automotiva, políticas governamentais, planejamento estratégico insuficiente ou mesmo estéril, com respeito à frota atual. Além disso, incidem outros fatores como as restrições de espaço físico e de custeio para obras de novas vias, que desfavorecem principalmente a expansão da infraestrutura viária urbana.

Como reflexo imediato a essa relação, de tráfego discrepante para a quantidade de vias disponíveis, ocorre o aumento da probabilidade de acidente e dos congestionamentos, além de prejuízos ecológicos e financeiros para a sociedade. Também se reflete em ociosidade, atrasos e subsequente estresse aos condutores, com deterioração da qualidade de vida. Esses problemas não são mais exclusividade dos grandes centros urbanos, gradativamente avançam sobre todas as regiões com tráfego e comprometem o cotidiano dos cidadãos.

Desafios dessa natureza estimularam a eclosão de soluções com tecnologia da informação e comunicação sem fio, aplicadas ao transporte, para melhorar a segurança rodoviária e a mobilidade. A convergência dos esforços assim como dos avanços tecnológicos, proporcionam maior gerenciamento do tráfego, dos transportes de carga ou passageiros, acesso à informação e até mesmo entretenimento, resultando no desenvolvimento dos sistemas inteligentes de transporte (ITS) (CHOWDHURY; SADEK, 2003). O momento atual extravasa em inserções tecnológicas caracterizadas pela adoção dos dispositivos móveis, da computação pervasiva e da comunicação *ad hoc*, elementos que promovem a onipresença da informação e conduzem às transformações. Este entendimento substancia a expectativa da comunicação móvel em veículos como

uma realidade próxima, e também incita a elaboração de sistemas de transporte inteligentes (ITS) e seguros (MENEQUETTE *et al.*, 2016; C2C-CC, 2018), uma vez que os inconvenientes congestionamentos de tráfego implicam em experiências frustrantes aos condutores, impactam negativamente nas economias e são nocivos ao ambiente (CAPPIELLO *et al.*, 2002).

As iniciativas com ITS se beneficiam dos aspectos inerentes das inovações em tecnologia de processamento, detecção e comunicação, corroborando com a intenção de conferir recursos para monitorar condições de tráfego em uma região e assistir na redução dos congestionamentos, além de possibilitar a disponibilização de informações e serviços para os usuários desses sistemas, como motoristas e passageiros (BRENNAND *et al.*, 2016). Por meio da consolidação de um conjunto de serviços e aplicações, ITS ampliam o domínio sobre processos de monitoramento e sobre a dinâmica de gerência do tráfego. São sistemas que possibilitam a difusão de alertas para anunciar congestionamento, colisão, ameaça à segurança ou condições meteorológicas, por exemplo. Além disso, também compreendem o controle da sinalização semafórica, gerenciamento de incidentes, de áreas em obras, de emergências, do transporte público, bilhetagem e controle tarifário, entre outras inovações.

Como parte destas soluções, dispositivos sensores e processamento integrado capacitam os veículos para recolher dados e interpretar informações, com o propósito de auxiliar o condutor a tomar decisões. De forma análoga, ITS beneficiam-se da integração de diferentes tecnologias embarcadas, que proporcionam a comunicação entre os veículos (Comunicações Veículo-a-Veículo (V2V)) e dos veículos à infraestrutura das vias (Comunicações Veículo-a-Infraestrutura (V2I)), quando disponível. Um componente que confere robustez à engenharia dos ITS é a rede de veículos, referenciada como rede *ad hoc* veicular (*Vehicular Ad hoc Network* (VANET)) ou simplesmente *redes veiculares*. Estas redes são um tipo particular das redes *ad hoc* móveis (MANET), promovidas pela interação de veículos equipados com capacidade de processamento, interfaces de comunicação sem fio e sensores diversos, onde todos os nós são efetivamente ativos no processo de comunicação, ainda que penalizados pela incerteza originada com a dinâmica do tráfego. Nestas redes de formação espontânea, os nós valem-se de pouca ou nenhuma infraestrutura estabelecida previamente, pois são capazes de enviar, receber e encaminhar dados entre si, comunicarem-se com os componentes agregados à infraestrutura de rede (*Road Side Unit* (RSU)) ou ainda, veículo-a-infraestrutura (V2I), criando uma VANET (CORREA *et al.*, 2014; CORREA *et al.*, 2015).

Para tanto, contribuem as especificações de padrões de comunicação apropriados ao ambiente de tráfego veicular. Como a combinação do padrão IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008) e o conjunto de protocolos da família de padrões IEEE 1609 que forma a arquitetura WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) (IEEE, 2013), alicerce para a rede *ad hoc* veicular - VANET (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008;

KARAGIANNIS *et al.*, 2011).

1.1 Justificativa

A diversidade dos aspectos relacionados à constituição, formação e operação de VANET representa, para a academia principalmente, uma fonte de inovações tecnológicas (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008; MOHAMMAD; RASHEED; QAYYUM, 2011). Trata-se de um segmento de interesse para toda a comunidade, científica ou não. Justamente nesse sentido, o *Mobile Ad Hoc Networking Working Group* foi instituído junto a IETF (*Internet Engineering Task Force*) (IETF, 2018) no intuito de promover e difundir tecnologias que incluem, por exemplo, VANET e WSN (*Wireless Sensor Network*).

Observa-se o direcionamento temporal dos esforços para desenvolver e estender a arquitetura, os protocolos e padrões candidatos formadores da VANET, uma vez que esses continuam representando um desafio operacional (IETF, 2018; ALASMARY; ZHUANG, 2012; IEEE, 2013). A área segue repleta de oportunidades, ainda com lacunas ou respostas insuficientes. É apropriada para a geração e disponibilização de soluções inteligentes aos problemas observados nos sistemas de tráfego, tal como a disseminação das informações de alerta de segurança ou de utilidade pública, por exemplo.

As aplicações em VANET são mais amplas, segundo Li e Wang (2007) categorizadas como aplicações de ITS e aplicações de conforto. A primeira categoria inclui a navegação embarcada, controle do fluxo de tráfego, análise de congestionamento de tráfego em tempo real e determinação de rotas alternativas baseadas nas condições do tráfego e em função do destino, entre outras mais. Aplicações de conforto proporcionam, entre outros exemplos, conectividade à Internet para os nós veiculares em movimento. Desta forma, um passageiro pode transferir músicas, se distrair com jogos, acessar redes sociais ou mesmo realizar a leitura de um artigo para sua pesquisa.

De forma singular, as incertezas inerentes da dinâmica do tráfego, que impactam em acometimentos no processo de comunicação, reclamam atenção (BAUZA; GOZALVEZ; SANCHEZ-SORIANO, 2010). As teorias mais conhecidas para tratar da imprecisão e da incerteza são respectivamente a teoria dos conjuntos e a teoria de probabilidades (ZADEH, 1999). Embora úteis, estas teorias nem sempre conseguem extrair a riqueza da informação disponível. A teoria clássica dos conjuntos, que trata classes e objetos e suas relações em um universo definido, não é capaz de tratar o aspecto vago da informação, e a teoria de probabilidades é mais adequada para tratar de informações frequentistas, do que aquelas fornecidas pelo indivíduo, por exemplo (KLIR; FOLGER, 1988; WANG; MENDEL, 1992; GOMIDE; GUDWIN; TANSCHKEIT, 1995). Com austeridade menor, a teoria clássica dos conjuntos pode ser vista então

como um caso particular desta teoria mais geral, que é a teoria dos conjuntos nebulosos, em que o *grau de pertinência* de um elemento x (onde $\{x \in X\}$) em relação a um conjunto *fuzzy* A é determinado por uma função característica real, que pode assumir infinitos valores no intervalo $[0, 1]$, ou formalmente $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$.

1.2 Contexto e Motivação

Rede *Ad hoc* Veicular (VANET) é uma derivação dedicada das redes *ad hoc* móveis MANET, com a particular propriedade de que os nós principais são veículos. Como implicação direta, o movimento dos nós é restrito ao curso da malha viária e abrange as regulamentações de trânsito e tráfego. As redes *ad hoc* caracterizam-se por operar com tecnologias sem fio; nelas todos os nós são efetivamente ativos no processo de comunicação. As VANETs se manifestam de forma distribuída, não estruturada e auto-organizável. Nesse tipo específico de redes móveis, os elementos (ou veículos) da VANET interagem para formar uma rede espontânea, valendo-se de pouca ou nenhuma infraestrutura estabelecida previamente, pois são capazes de enviar, receber e também encaminhar dados entre si.

As operações de comunicação em redes *ad hoc* veiculares são repletas de adversidades, as quais implicam em desafios para a indústria (C2C-CC, 2018) e para a academia. Desta forma, VANETs projetam-se como um segmento de pesquisa inclinado às inovações tecnológicas que são necessárias aos desenvolvimentos em ITS. Oportunamente, os estímulos dos avanços com as tecnologias de transmissão sem fio e a sua respectiva democratização, desde 2002, despertaram a atenção da comunidade acadêmica (LI; WANG, 2007), inicialmente para as MANET. Em consequência, também promoveram um aumento na elaboração de trabalhos que descrevem os desafios para a disseminação de dados e das aplicações em VANET.

Por meio das comunicações entre os veículos na VANET, sistemas para mitigar a necessidade por maior segurança, aplicações para atender demandas por informação sobre as condições de operação do tráfego, para aumentar a eficiência do tráfego e ainda, para proporcionar conforto e entretenimento são almejados (MOUSTAFA; ZHANG, 2009). Estas são algumas das perspectivas que promovem e sustentam os desenvolvimentos com VANET. Em decorrência do potencial estimado, composições dessa natureza figuram entre as principais soluções de comunicação V2V e V2I para aplicações de ITS (TAHA; HASAN, 2007). Entretanto, devido à mobilidade e velocidade elevada dos nós, ocorrem problemas de particionamento dos enlaces de comunicação com frequência. Além disso, sobre VANETs incidem atrasos e perdas de dados derivados dos efeitos da concorrência, congestionamento ou interferências no meio físico. A instabilidade circunstancial, inerente aos enlaces formados em VANET, compromete

a confiabilidade da comunicação. Para muitas das soluções pretendidas em ITS esta condição é desfavorável, mesmo assim permanecem sem resposta definitiva.

A diversidade de aplicações para VANET varia de forma ampla e significativa em termos de requisitos, que podem até mesmo ser conflitantes. Embora relativamente pequenas, as mensagens de segurança exigem acesso rápido e garantido, com atraso mínimo de transmissão. Serviços de informação e entretenimento podem impor maior carga de dados, mas são menos rigorosos em relação aos atrasos. Além disso, são exigidos processamento substancial e a determinação precisa da posição em aplicações que envolvem informações de localização, enquanto que no gerenciamento de tráfego, essa condição é moderada (BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011).

Fatores de escalabilidade relacionados com as dimensões da rede e com a densidade local de nós, catalisados pelas altas velocidades associadas aos veículos, são adversidades que configuram desafios maiores nas VANETs (LOCHERT *et al.*, 2003). Neste contexto, os números da Tabela 1, sumarizados das consultas aos dados disponibilizados publicamente pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) (DENATRAN, 2018), também apresentados na forma gráfica da Figura 1, representam o cenário nacional e justificam a disposição para o agravamento dos problemas relacionados ao tráfego.

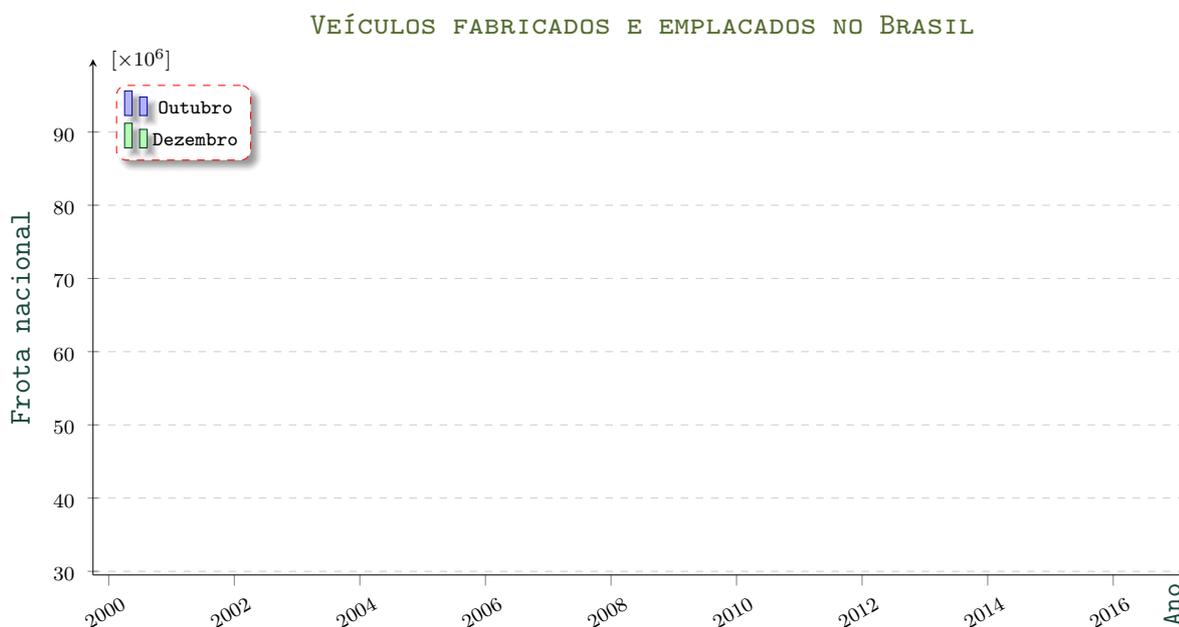
Tabela 1 – Veículos fabricados e emplacados no Brasil

FROTA NACIONAL		
Ano	outubro	dezembro
2000	NaN	29.722.950
2001	NaN	31.913.003
2002	NaN	34.284.967
2003	36.194.442	36.658.501
2004	38.724.320	39.240.875
2005	41.508.940	42.071.961
2006	44.722.642	45.372.640
2007	48.822.278	49.644.025
2008	53.849.169	54.506.661
2009	58.506.136	59.361.642
2010	63.724.538	64.817.974
2011	69.486.415	70.543.535
2012	75.179.955	76.137.191
2013	80.649.163	85.123.944
2014	85.766.231	86.700.490
2015	88.145.280	91.144.277
2016	92.002.523	92.860.769
2017	96.509.371	NaN

Fonte: Adaptada de DENATRAN (2018).

A informação para a frota veicular nacional com observações anuais iniciadas no ano 2000, recebe atenção complementar a partir de 2003 por meio de apuração em dois momentos distintos, nos meses de outubro e dezembro, conforme se constata na Tabela 1. A tendência contínua de aumento ao longo do período de acompanhamento se caracteriza com maior propriedade na representação em barras da Figura 1, a qual sugere que em 2013 se inicia uma tênue moderação para a inclinação dessa tendência. O aumento da frota ao longo dos anos acarreta a formação de congestionamentos mais frequentes e de maior magnitude, principalmente nos centros urbanos. Por sua vez, sobre o tráfego rodoviário incidem os custos com os maiores tempos e riscos para percorrer os trajetos. Essas evidências subsidiam a necessidade de soluções com ITS para promover o gerenciamento do tráfego veicular.

Figura 1 – Frota anual de veículos fabricados e emplacados no Brasil



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os extremos de formação para VANET, em condições de densidade de veículos elevada ou, na situação oposta com tráfego esparsos, estão mais vulneráveis aos problemas de escalabilidade. A conectividade entre os veículos pode ser intermitente em áreas onde os nós são esparsos, o que se reflete no particionamento da rede. Por sua vez, a disseminação de dados pode ser comprometida pelo congestionamento das transmissões, o que a literatura referencia como o problema da tempestade *broadcast*, que ocorre quando vários nós competem para transmitir simultaneamente. Como consequência, essa situação ocasiona maior tráfego de dados e o congestionamento dos enlaces *ad hoc* (VILLAS *et al.*, 2013; VILLAS *et al.*, 2014).

Aspectos como a mobilidade e a velocidade dos nós impactam diretamente sobre a comunicação em VANET, degradando-a como resposta para ITS. O comprometimento

dos enlaces derivado de interferências, perdas, colisões e concorrência que acontecem no meio físico, intensificam os problemas de comunicação. A volatilidade da topologia da rede e na densidade veicular, resultante da dinâmica da mobilidade, também constituem obstáculos para a disseminação de dados nas comunicações veiculares de curto alcance.

Embora existam propriedades compartilhadas, soluções de disseminação concebidas para atender **MANET** se mostram inadequados para esta mesma tarefa em **VANET** (TAHA; HASAN, 2007). Tantas particularidades fazem a rede *ad hoc* veicular singular em características. Mesmo assim, **VANETs** são apontadas como uma componente elementar de comunicação para a efetiva disponibilização dos **ITS** (NADEEM *et al.*, 2004; BRICKLEY *et al.*, 2007). Em abordagens promissoras por exemplo, condições similares entre os nós, como a velocidade e o sentido do movimento são aproveitadas favoravelmente. Os veículos subordinados a agrupamentos (*clusters*) permitem adequações paliativas. Os nós agrupados cooperam, como uma forma de atenuar os efeitos das condições de instabilidade sobre o processo de comunicação da rede (BLUM; ESKANDARIAN; HOFFMAN, 2003).

Diversas questões sobre **VANET** são discutidas nas propostas elaboradas pela academia (BAKHOUYA; GABER; LORENZ, 2011; DUA; KUMAR; BAWA, 2014). Entretanto, são escassas as abordagens que atacam conjuntamente adversidades como a tempestade *broadcast* e o particionamento da rede, mas que preservam o desempenho no processo de disseminação de dados. Além disso, é necessário lidar com inconstâncias nas condições da densidade veicular em ambiente de tráfego heterogêneo (urbano e rodoviário). A dinâmica natural à **VANET** remete ao desenvolvimento de estratégias com inteligência para conferir autonomia e adaptação. Esta iniciativa possibilita que os próprios nós respondam com propriedade sobre a forma adequada de colaborar na comunicação. Como enlaces **V2V** são pouco confiáveis, os elementos da **VANET** precisam contornar lapsos de comunicação e acomodar atrasos e perdas eventuais de dados entre os nós, conforme é conveniente às soluções com **ITS**.

A comunicação deve perpetuar mesmo com adversidades, sob variações na densidade de veículos, uma vez que os engenhos de disseminação de dados são responsáveis pela propagação das informações de segurança na **VANET**. Artifícios para disseminação eficiente, com condições de tráfego diversas, são discutidos nas publicações de Maia *et al.* (2013) (MAIA *et al.*, 2013; VILLAS *et al.*, 2014), e promovem a comunicação **V2V** com amparo de técnicas de *flooding* controlado. Já em Meneguette *et al.* (2014), utiliza-se computação autônoma para executar a disseminação por meio de um sistema de decisão proativo (MENEGUETTE *et al.*, 2014) e ainda, em Meneguette *et al.* (2016), uma *Artificial Neural Network* (**ANN**) recebe competência como subsídio para reduzir congestionamentos de tráfego ao pleitear inteligência às comunicações **V2V** (MENEGUETTE *et al.*, 2016).

Assim, esta tese toma proveito das lacunas observadas na literatura (CHEN *et al.*, 2011) e absorve a tendência latente nestes trabalhos. A motivação é calcada no desafio de elaborar um conjunto de estratégias para prover a identificação de condições de congestionamento e resposta pertinente, com a implementação de disseminação de dados adaptativa, considerando que o processo de comunicação veicular padece com a incerteza intrínseca da dinâmica do tráfego. Como efeito, o endereçamento *fuzzy* oportuniza acomodar o anseio implicado pela repercussão dessa incerteza.

A teoria dos conjuntos nebulosos e a teoria de possibilidades são intimamente ligadas. Desenvolvida por Zadeh (1965), Zadeh (1999), a teoria de possibilidades trata a incerteza da informação de forma análoga à teoria de probabilidades. Esta teoria, por ser menos restritiva, pode ser considerada mais adequada para o tratamento de informações fornecidas pelo indivíduo do que a teoria de probabilidades. Efetivamente, mesmo no discurso usual, a noção de possibilidade é menos restritiva que a noção de probabilidade, uma vez que reconhecer um determinado evento como possível não implica em dizer que o mesmo seja provável.

Então, extrapolando a formalização iniciada com Zadeh (1999) e já empregando a abordagem aos sistemas *fuzzy*, este trabalho materializa a solução *Embedded Fuzzy Identification and Regulation System for Transmission (eFIRST)*¹ como paradigma para aplicações embarcadas nos veículos da VANET, que podem se valer das respostas obtidas com as operações de *defuzzificação* das saídas de um sistema *fuzzy*. Os níveis de congestionamento ou as condições de tráfego, assim detectadas, permitem que uma estratégia de disseminação de dados promova ações adaptativas, assim como conferem robustez ao ajuste da potência do sinal de transmissão dos veículos, atenuando, desta forma, a fragilização das comunicações em consequência à saturação dos canais reservados². Conjecturando um pouco mais além, o sistema *fuzzy* pode contribuir para sustentar e adaptar outras aplicações ITS às condições do tráfego veicular detectado, em abordagem semelhante (BAUZA; GOZALVEZ; SANCHEZ-SORIANO, 2010; HU; WU; XU, 2012; ARAUJO *et al.*, 2014).

1.3 Objetivos

Conforme o contexto na Seção 1.2, que descreve VANET como um domínio de adversidades singulares, a operação em modo *ad hoc* possibilita que dispositivos móveis interajam para constituir uma rede. Os arranjos autônomos, originados nessas interações, providenciam suporte paliativo às áreas desprovidas de infraestrutura de comunicação. Estas formações diferenciam-se como um tipo de configuração de rede

¹ Sistema Embarcado de Identificação e Regulação Fuzzy para Transmissão.

² Veja: *Dedicated Short Range Communications (DSRC)* (TAHA; HASAN, 2007).

regulada por dispositivos sem uma estação base, para a qual as comunicações oriundas de outros nós convergem. Convenientemente, essa prática desobriga a utilização de um elemento central de roteamento para proporcionar a comunicação da rede instaurada com outros destinos. Como característica, destaca-se a formação de ligações dedicadas entre os nós, constituídas de modo independente de outras ligações estabelecidas na rede. Nessa situação, o comprometimento de um enlace de comunicação, ocasionado por falha no dispositivo ou por desconexão, não compromete a operação dos demais.

Uma vez que os nós na VANET são livres para migrar por itinerários aleatórios, ocorrem mudanças de topologia com frequência e dinâmica na medida correspondente à mobilidade de cada um destes elementos da rede. Assim, observadas as restrições na auto-organização e auto-operação desse tipo de configuração, as condições de densidade veicular, o encaminhamento e a estratégia para disseminação de dados representam problemas desafiadores que aguardam solução arrojada e efetiva.

Para contribuir no âmbito discutido, o escopo de desenvolvimento deste trabalho está voltado à implementação de estratégias adaptativas, aplicadas pelas soluções de disseminação de dados em VANET. O ambiente heterogêneo de formação impacta o processo de comunicação entre os nós que constituem a rede. Porém, a identificação das condições de congestionamento permite agregar autonomia aos veículos para adequar a estratégia de disseminação às flutuações na densidade e velocidade. A avaliação subjetiva da informação de congestionamento implica a utilização de um sistema de inferência para variáveis qualitativas. Nesta tarefa, métricas como a própria velocidade, junto com artifícios da teoria de fluxo de tráfego, a exemplo da estimativa da densidade local (ARTIMY, 2007), processadas por meio de um sistema *fuzzy* (ARAUJO *et al.*, 2014) possibilitam inferir sobre a situação atual do tráfego e conseqüentemente, sobre a dimensão do congestionamento.

Neste trabalho os objetivos são fracionados para simplificar a abordagem. Desta forma, por meio de informações inerentes aos próprios nós da VANET e outras originadas pela vizinhança, um sistema *fuzzy* dinâmico permite (i) detectar condições de congestionamento e concluir sobre a intensidade do mesmo. O tráfego caracterizado na inferência *fuzzy* providencia argumento para (ii) determinar a estratégia de disseminação de dados apropriada à condição do tráfego local. A dimensão do congestionamento, compartilhada na VANET, fornece uma métrica para que (iii) a estratégia de disseminação elaborada se adapte com autonomia às novas condições. Por fim, uma avaliação com um conjunto de experimentos simulados sobre o padrão IEEE 802.11p para (iv) confrontar essas contribuições com procedimentos da literatura.

Como a informação da situação do tráfego resulta da inferência com um sistema *fuzzy* sobre variáveis qualitativas, a solução descrita acomoda diferentes composições das vias e seus respectivos limites de velocidade, da mesma forma que comporta tráfego

urbano e rodoviário. Portanto, esta tese almeja atender as expectativas para substanciar avanços em VANET, avaliando e propondo estratégia colaborativa para identificar o tráfego local, assim como introduzir a capacidade de adaptação e autonomia à estratégia de disseminação de dados.

Por meio dos avanços alcançados, espera-se fornecer mecanismos para que os nós se ajustem dinamicamente aos frequentes particionamentos dos enlaces de comunicação V2V, simultaneamente às oscilações na densidade veicular e aos congestionamentos das transmissões, sem negligenciar as particularidades dos intervalos de tempo regulados às apropriadas decisões do condutor. Ao final então, consumada a integração das diferentes tecnologias do arcabouço, discutem-se as respostas das avaliações de confronto com o eFIRST, que é a estratégia de disseminação de dados em VANET concebida, providenciando a argumentação necessária sobre características consideradas suficientes para respaldar métricas de comportamento que superem as limitações das soluções atuais e que assegurem a cobertura reivindicada, mesmo com atrasos e perdas de mensagens.

1.4 Organização do Documento

O texto desta tese está organizado de forma que o **Capítulo 1** apresenta uma discussão introdutória sobre as redes *ad hoc*, bem como conceitos iniciais e uma contextualização para a formação de rede *ad hoc* veicular com atenção para amplitude dos desafios.

O **Capítulo 2** caracteriza a infraestrutura de comunicação em VANET, introduz alguns dos desafios nesse ambiente, identifica aspectos de operação, assim como arquiteturas próprias dessas redes e tecnologias convencionais adotadas para comunicação, alcançando a caracterização dos padrões utilizados como parte do arcabouço tecnológico.

Para tratar sobre o modo de comunicação apropriado e respectivos impactos, o **Capítulo 3** realiza uma abordagem aos métodos de comunicação, aos procedimentos e estratégias para o encaminhamento de dados em redes veiculares. Além disso, também são contextualizados desafios decorrentes das condições que influenciam essas estratégias.

No **Capítulo 4**, apresentam-se conceitos introdutórios de definição, fundamentação para a teoria dos conjuntos *fuzzy* e as respectivas operações sobre estes. A sequência deste mesmo capítulo insere as apropriadas descrições para os elementos de formação dos sistemas nebulosos, os quais aplicam essa teoria de forma singular em proveito da abordagem de problemas complexos, de difícil modelagem, como no caso das situações atacadas para atender as restrições de comunicação em VANET.

Os principais trabalhos relacionados, particularizados da literatura para atender orientação especializada e compor detalhamento dos enfrentamentos propostos pela academia, são tratados nas frações dos textos sintetizados com o **Capítulo 5**. Este capítulo também contextualiza as iniciativas propostas para VANET e direcionadas ao problema da identificação das situações de congestionamento, respaldando toda a discussão com as referências apropriadas.

Posteriormente, o **Capítulo 6** elabora as considerações necessárias para agregar ênfase ao tratamento da condição de congestionamento, por meio de um sistema de inferência *fuzzy* embarcado nos nós. O texto se desenvolve com o propósito de descrever todo o método utilizado e o conjunto de ferramentas necessárias para a realização dos desenvolvimentos de implementação da estratégia eFIRST, assim como a execução das simulações para a avaliação de um conjunto de métricas. O capítulo também acomoda as considerações relacionadas com a metodologia adotada, os algoritmos de sustentação do eFIRST, e se consolida com um conjunto de curvas de resposta que aderem promissora aos enfrentamentos, todas tratadas como subsídio para a argumentação que favorece a adoção da estratégia apresentada.

Por fim, o **Capítulo 7** encerra este texto com a apresentação condensada das principais considerações finais e contribuições alcançadas. Para respaldar a estratégia eFIRST, este capítulo, e mais adiante ainda o **Apêndice A**, posicionam sobre a produção científica realizada de forma concomitante, conveniente para elucidar os resultados intermediários. Já os últimos parágrafos do capítulo são dedicados para abordar perspectivas de trabalhos futuros que merecem alguma atenção.

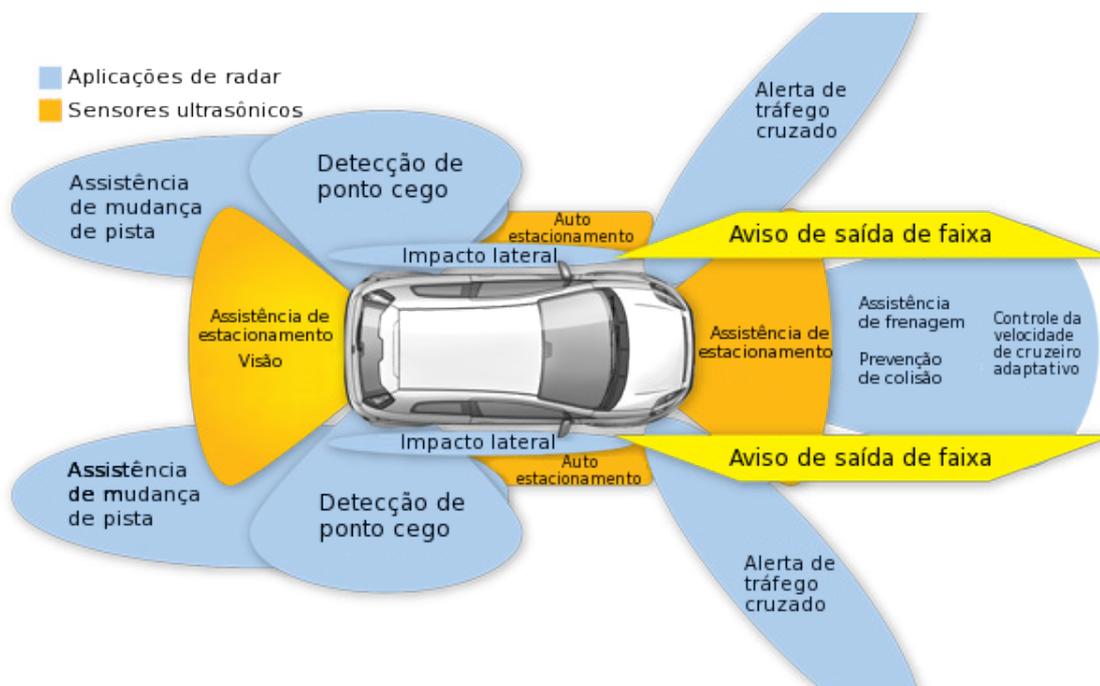
REDE *AD HOC* VEICULAR - VANET

COM convicção ainda em 1998, Mateus e Loureiro (1998) assinalam que serviços via satélite e as redes locais sem fio permitirão que informações e recursos computacionais sejam acessados e utilizados em qualquer lugar, a qualquer momento. Nos anos seguintes, a mobilidade interessou a diversos grupos em diferentes áreas (MALTZ; BHAGWAT, 1998; KIMURA; GUARDIA, 2008; BOLLA; REPETTO, 2010), até que sistemas destinados aos dispositivos móveis (e análogos) receberam atenção suficiente para se concretizarem. Uma heterogeneidade de tecnologias se integram para formar composições em rede, mesmo com o meio de comunicação como componente volúvel, susceptível à fragilização ou com quaisquer outras condições adversas, diferentes das ideais (CAO; SUN, 2013). Tais condições englobam a própria comunicação sem fio entre dispositivos móveis, entre dispositivos com restrição de energia, em operações militares, nas redes esparsas das áreas rurais ou até em redes interplanetárias (BURLEIGH *et al.*, 2003), onde a arquitetura convencional não satisfaz os requisitos para operar em conformidade com padrões habituais (MEDEIROS; SALLES, 2009), uma vez que origem e destino não conseguem estabelecer uma conexão ou um circuito, formalidade necessária para o tráfego de dados sobre protocolos nativos, em arquiteturas consolidadas como TCP/IP por exemplo.

Em uma tendência crescente, veículos também absorvem as inovações tecnológicas para o propósito de melhorar a experiência de guiar ao condutor e, de forma similar, aos passageiros. Os principais sistemas (de velocidade, proximidade, frenagem, etc.) capturam e traduzem sinais do ambiente para prestar auxílio (ALVES *et al.*, 2009). Porém, estes sistemas são próprios às configurações de interação entre veículo e condutor, baseados em informações oriundas de um conjunto de sensores, como na Figura 2. Contudo, a comunicação em modo *ad hoc* possibilita que dispositivos interajam para constituir uma rede. Os arranjos autônomos, originados nessas interações, providenciam suporte às áreas desprovidas de infraestrutura de comunicação estabelecida.

Então, para comunicação na *VANET*, a extensão tecnológica promove a interação entre os diversos veículos de um ambiente e entre estes com o próprio ambiente, conforme necessário para aplicações que constituem *ITS*. Em outra perspectiva, acomoda a expectativa do usuário, que está relacionada com a possibilidade de usufruir dos recursos computacionais e da *Internet* de forma ubíqua (ROZAS-RAMALLAL *et al.*, 2013).

Figura 2 – Sistemas veiculares de assistência ao condutor



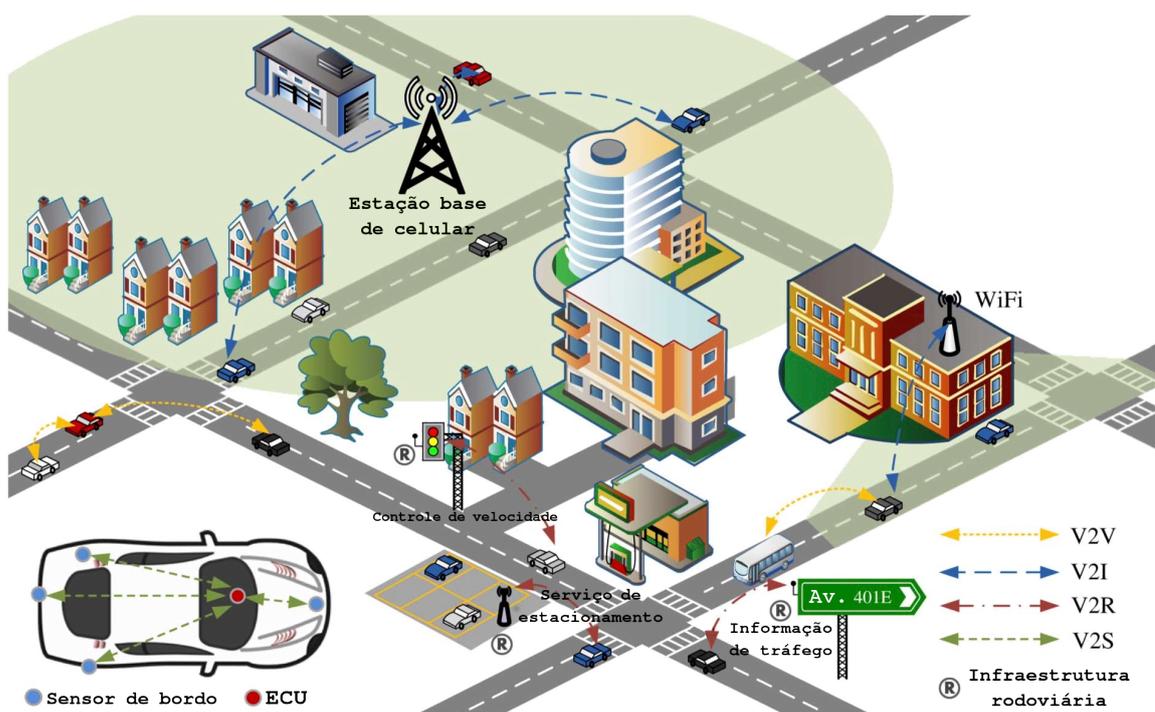
Fonte: Adaptada de Leen e Heffernan (2002), Alves *et al.* (2009).

Entretanto, *VANETs* são propensas a instabilidades como ruídos, perdas, atrasos, colisões, desconexões frequentes e operam sobre a escassez ou inexistência de conectividade fim a fim. Além disso, a inconstância da topologia e fatores de escalabilidade relacionados com as dimensões e com a densidade da rede representam alguns dos desafios práticos para aplicar comunicação veicular em ampla escala. Além disso, sobre os estreitos intervalos de tempo para contato incidem restrições de *latência*, e aspectos intrínsecos ao enlace proporcionam conectividade intermitente entre os nós. Essas são condições desfavoráveis que tornam inadequados muitos dos protocolos de comunicação projetados para outras redes sem fio, a exemplo das *MANET* (ALVES *et al.*, 2009). Portanto, implicam em paradigmas especializados como a adoção de comportamento *SCF* (*Store-Carry-Forward*) para retransmissão de mensagens, decorrente da própria mobilidade dos nós (CAO; SUN, 2013).

Apesar disso, providos de tecnologia dedicada na *VANET*, nós com comunicação embarcada sem fio permitem a interação entre os próprios veículos e, quando disponíveis, entre veículos e unidades de comunicação das rodovias *Road Side Unit* (*RSU*). As formações resultantes diferenciam-se como um tipo de configuração de rede regulada

por dispositivos sem uma estação base, para a qual as comunicações oriundas de outros nós convergem. Essa prática desobriga a utilização de um elemento central de roteamento para proporcionar a comunicação da rede instaurada com outros destinos. As ligações são dedicadas entre os nós, constituídas de modo independente de outras ligações estabelecidas na rede. O comprometimento de um enlace de comunicação, ocasionado por falha no dispositivo ou por desconexão, não compromete a operação das demais ligações. Além disso, quando presente, a infraestrutura de RSUs geralmente composta por estações base fixas, localizadas às margens das estradas, ruas ou vias, como identificado na [Figura 3](#), atenua alguns dos desafios da mobilidade. Uma vez que mesmo elevada nessas redes, a mobilidade permanece confinada em trajetórias que aderem às fronteiras das vias dedicadas ao tráfego, mais uma vez como ilustrado na [Figura 3](#), que também exemplifica a comunicação direta e por meio de múltiplos saltos entre os veículos.

Figura 3 – Comunicação direta (V2V), indireta (V2I) e com RSU (V2R)



Fonte: Adaptada de [BBCR Lab \(2018\)](#).

Em *VANET*, os nós comunicam-se uns com os outros sem qualquer intervenção de um controle centralizado ou infraestrutura prévia. A auto-organização, a operação assíncrona distribuída e a mobilidade dos veículos se refletem na formação de redes locais dinâmicas autônomas ([CONTI; GIORDANO, 2007](#)), onde a topologia pode alterar rápida e inesperadamente. Contudo, o alcance de transmissão é específico à tecnologia embarcada nos dispositivos. Assim, a comunicação entre os nós pode ser direta ou indireta. A comunicação é direta para os nós na vizinhança, dentro da mesma

área de cobertura do emissor ou indireta, com intermediários, por meio de múltiplos saltos (*multihop*) para realizar a troca de dados entre nós distanciados ou ofuscados por obstáculos.

2.1 Arquiteturas em Redes Veiculares

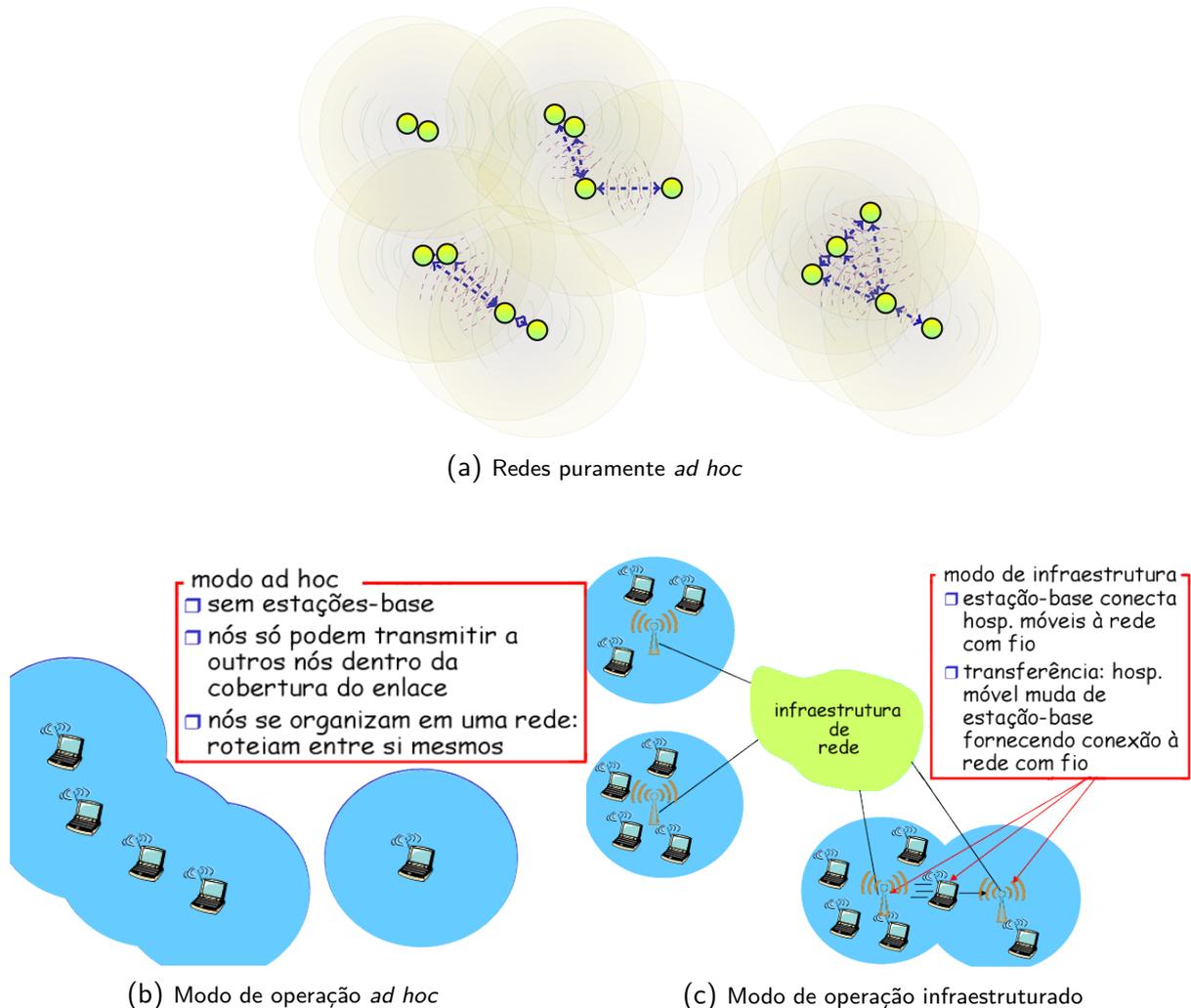
Para estabelecer uma configuração como rede veicular, os nós que a integram interagem e se organizam para desenvolver os processos de comunicação. Essas relações de auto-organização e de comunicação são definidas por meio da arquitetura adotada. Tais arquiteturas podem ser representadas como arquiteturas puramente *ad hoc* (Figura 4(b)), identificadas em VANET como comunicação V2V, que permitem a comunicação direta entre quaisquer dois nós ou com o auxílio de nós retransmissores, em múltiplos saltos; arquiteturas infraestruturadas (Figura 4(c)), que na VANET correspondem à relação V2I, para a comunicação dos veículos com RSUs apenas; e arquiteturas em uma composição híbrida que agregam as características das duas primeiras e se beneficiam das comunicações V2V e V2I (BRICKLEY *et al.*, 2007; HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008; ALVES *et al.*, 2009).

Nesta direção, as redes que operam sem a infraestrutura de estações base ou *backbone* instituído antecipadamente são tratadas como redes *ad hoc* sem fio, como as ligações autônomas na Figura 4(a). Essas redes distinguem-se pela capacidade de comunicação entre quaisquer dos membros, de forma que cada um dos elementos deve suportar o encaminhamento dos dados (com SCF, por exemplo) transmitidos por outro nó adjacente na rede *ad hoc*.

A execução dessa operação de encaminhamento é a responsável pela retransmissão dos pacotes de dados de uma origem para um destino qualquer, com a implicação proposital de ampliar a região de cobertura para além do alcance individual. Já para os nós com comunicação direta, ao alcance na vizinhança, o encaminhamento dos seus dados através de intermediários é dispensado. Como são formações de rede descentralizadas, uma infraestrutura de comunicação estabelecida ou mesmo um dispositivo central de roteamento não representam exigências de implantação. Entretanto, opcionalmente podem integrar estas composições para estender sua abrangência, como ilustram a Figura 4 e a Figura 5.

Por sua vez, a VANET aproveita-se de um conjunto heterogêneo de dispositivos com capacidade de comunicação sem fio, embarcados nos próprios veículos, podendo até se favorecer de tecnologias concebidas para as redes de terceira (3G/HSPA) e quarta geração (4G/LTE) ou outras mais evoluídas. Porém, estes dispositivos operam principalmente sobre padrão dedicado IEEE 802.11p, que é projetado especificamente para atender rede veicular e compreende comunicações V2V (Figura 5(a)) como também

Figura 4 – Arquiteturas de comunicação em VANET



Fonte: Kurose e Ross (2010).

V2I (Figura 5(b)). Tais dispositivos constituem redes locais sem fio, então permitem subsidiar a definição ou projeto de ITS. Desta forma, providenciam os elementos necessários para a disseminação de avisos de colisão, informações sobre conveniências, sobre localização de incidentes, informações de tráfego local, obras e, em aplicações avançadas, possibilitam orientar manobras de condução do veículo para evitar colisões em cruzamento sem semáforo, por exemplo (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008).

A popularização das tecnologias sem fio para configuração *ad hoc* promove abordagens ousadas. A exemplo, a integração e interoperação das componentes da VANET por meio de sistemas pouco convencionais, em formações que utilizam Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) como apresentado no trabalho de Brown *et al.* (2004). As inovações convergem em propostas que tratam do problema de proporcionar comunicação em VANET de forma transparente e integrada. De fato, a troca de informações entre os veículos oferece uma oportunidade ímpar para o desenvolvimento de sistemas de

assistência ao condutor e representa um arcabouço com capacidades para reunir e difundir informações sobre outros veículos, sobre o tráfego rodoviário e condições do ambiente em tempo próximo ao real, podendo aproveitar inclusive dispositivos de comunicação pessoal. Esses dados podem ser então processados e analisados, para proporcionar informações convenientes aos utilizadores desses sistemas em escala de maior amplitude (ITS).

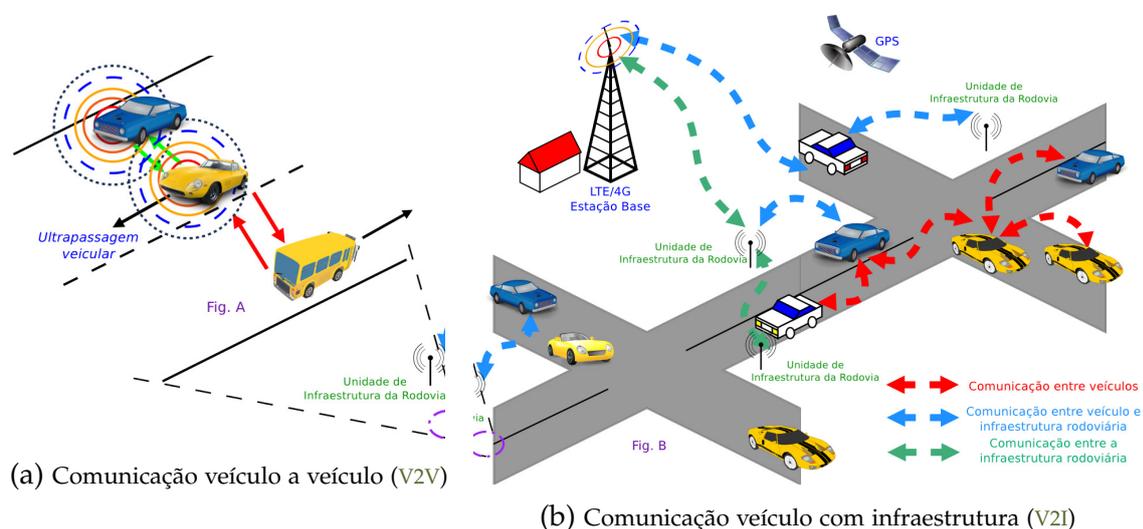
Entretanto, a mobilidade dos nós associada a altas velocidades e o ambiente severo de operação da VANET desfavorecem a comunicação V2V e V2I. Com essa justificativa, o desenvolvimento de novos padrões e estratégias específicas para atender desafios nestas redes está direcionado às soluções com dinâmica apropriada para conferir comunicação mais robusta e efetiva na VANET, sem descuidar da autonomia.

2.2 Tecnologias de Comunicação em VANET

Várias são as tecnologias sem fio que oferecem condições para utilização nas comunicações V2V e V2I, mesmo projetadas para propósitos diversos que não a comunicação veicular. Entre as mais difundidas estão tecnologias como infravermelho ou *Infrared Data Association (IrDA)*, ZigBee sobre as especificações de enlace IEEE 802.15.4 (BARONTI *et al.*, 2007), WiFi (IEEE 802.11a,b ou g) (BOOYSEN; ZEDADALLY; ROOYEN, 2011) e ainda, tecnologias próprias para comunicação celular como o 3G, 4G e outras mais recentes (MSADAA; CATALDI; FILALI, 2010). No entanto, resiliente a essas iniciativas, o padrão WAVE (IEEE 802.11p) (IEEE, 2013; ALASMARY; ZHUANG, 2012) por sua vez, atende especificamente o ambiente de comunicação em rede veicular.

Apesar da implementação simplificada, o infravermelho oferece alcance muito

Figura 5 – Rede *ad hoc* Veicular - VANET

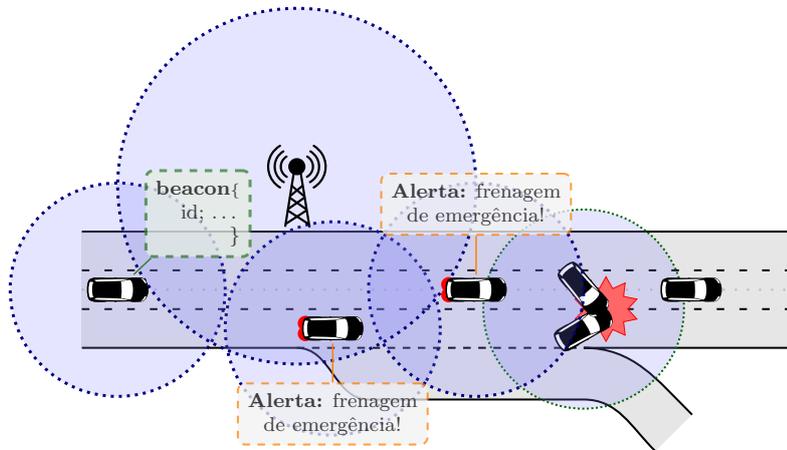


limitado. Na ausência de obstáculos, proporciona comunicação para até 10m de distância. Além disso, sofre degradação com a interferência da luz infravermelha de outras fontes, naturais ou artificiais. Com ZigBee, a degradação da comunicação ocorre em consequência direta ao aumento na velocidade e densidade veicular, por ocasião da admissão na rede (*pairing*). Já o WiFi tem a seu favor uma largura de banda maior. Porém, não proporciona escalabilidade adequada para tráfego elevado e está sujeito aos efeitos das interferências ocasionadas por construções ou outros obstáculos ao sinal de rádio. Mesmo com suas limitações neste contexto, infravermelho, ZigBee e WiFi permitem aplicações pontuais, como difusão de alertas e contagem de veículos e, particularmente, tarifação em praças de pedágio e estacionamento por meio de aplicações sobre ZigBee e padrões WiFi em aplicações pertinentes ao gerenciamento do transporte público e emergências.

Inicialmente projetadas para acomodar serviços de voz, as tecnologias de comunicação celular evoluíram de tal forma que, reportar acidentes ou compartilhar informações de tráfego são desafios efêmeros. Entre outras características, implementam *backbone* próprio, com ampla cobertura, largura de banda suficiente para operar em banda larga, elevadas taxas de comunicação (assimétrica) e assim, se diferenciam como alternativa para ITS. Ainda que promissoras, essas tecnologias constituem redes privadas, de uso comercial, concebidas para voz, sobre as quais impactam custos de adequação aos serviços ITS, entre outras restrições. A utilização de estações base na infraestrutura de acesso introduz um elemento concentrador, para onde as comunicações de uma área convergem. Então, toda a troca de dados ocorre amparada por um intermediário, que inserido no enlace, implica em problemas para escalabilidade e maior atraso na comunicação entre os nós. Estas penalidades são consideradas críticas para aplicações de controle de cruzamentos e no alerta de colisão, com eventual obstrução das vias, por exemplo, como retratado pela Figura 6, que introduz uma estação base para intermediar a comunicação aos veículos que se aproximam do incidente.

Sob essa perspectiva, a observação criteriosa e a severidade das restrições intrínsecas à VANET, derivadas das adversidades no meio físico de formação dos enlaces, assim como dos cenários de operação, encorajaram o desenvolvimento de uma arquitetura para prover acesso *wireless* em ambiente veicular (WAVE) (IEEE, 2013). Esta arquitetura, própria para VANET, contribui com soluções robustas para as camadas mais baixas do processo de comunicação, além de permitir a comunicação direta entre os nós. Em conjunto com a família de padrões IEEE 1609 e respectivos serviços agregados, dispositivos WAVE implementam serviços básicos capazes de confrontar problemas característicos às tecnologias sem fio no ambiente veicular como por exemplo, problemas de escalabilidade, terminal oculto ou interferências causadas por obstáculos ocasionais como construções ou vegetação que incidem sobre os enlaces destas composições de rede.

Figura 6 – Acidente rodoviário. Veículos que se aproximam enviam alerta de emergência por intermédio da estação base para evitar mais acidentes



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.3 Padrão IEEE 802.11p da Tecnologia de Comunicação em VANET (DSRC/WAVE)

Nas comunicações em rede móvel, a camada **MAC** (*Media Access Control*) tem importância estratégica, pois determina o nó que obtém o acesso ao meio físico. Sua relevância fica evidente ao se observar o limitado período de apenas 30 segundos, aproximadamente, em que dois veículos se deslocando em sentidos opostos permanecem dentro do intervalo de comunicação. Período estimado ao se considerar uma velocidade por volta de 120km/h ($\approx 33.3\text{m/s}$) e um alcance de transmissão de ≈ 1000 metros, para ambos (BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011).

2.3.1 Comunicações de Curto Alcance Dedicadas - DSRC

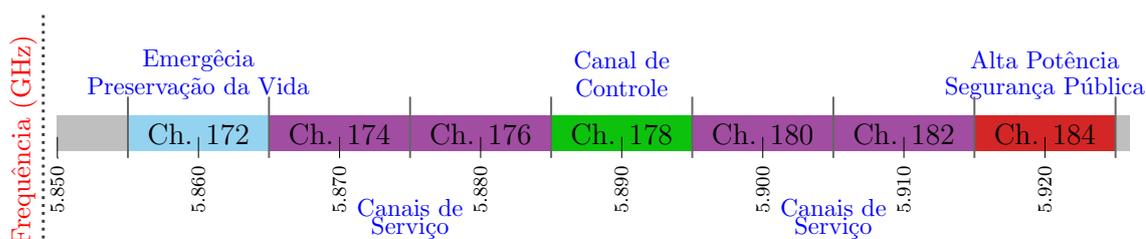
Ao identificar a necessidade de regulação, em 1999 nos Estados Unidos, a **FCC** (*Federal Communications Commission*) em uma iniciativa para padronização reservou 75MHz do espectro de frequências no intervalo de 5.850GHz a 5.925GHz , conforme ilustrado na Figura 7 que apresenta a composição dessa fração do espectro. A esse intervalo estão associadas as aplicações **DSRC** (*Dedicated Short Range Communications*) (BAI; STANCIL; KRISHNAN, 2010), que têm o propósito principal de atender tanto a segurança pública quanto operações privadas, entre as quais encontram-se as comunicações **V2V** e **V2I**. A banda **DSRC** é um espectro livre, porém licenciado. Ou seja, a utilização não é cobrada, mas a **FCC** impõe restrições de conformidade com um padrão para as tecnologias e aplicações (JIANG; DELGROSSI, 2008). Esforço similar no sentido de reservar intervalos do espectro de frequências para **VANET** acontece em outras

regiões, a exemplo da Europa, onde, inicialmente, DSRC descrevia somente o protocolo para tratar pedágio eletrônico (BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011), comunicação específica que utiliza frequência próxima de 915MHz, com alcance máximo de 30 metros e banda de até 0,5Mbps.

As especificações da tecnologia DSRC para VANET estão em conformidade com as propostas estabelecidas para aplicações de segurança e conforto e são suficientes para possibilitar comunicação veicular adaptada às altas velocidades relativas dos nós, de até 190km/h aproximadamente, independentemente do ambiente. Além de reservarem recursos para segurança pública e para operações privadas, tais especificações também proporcionam elevadas taxas de transmissão de dados (até 27Mbps), com baixa latência e alcance de transmissão característico de 1000 metros (BAI; STANCIL; KRISHNAN, 2010).

Relativamente ao espectro de frequências, as transmissões DSRC ocorrem em 5,9GHz. Nesta banda, estão disponíveis 7 frequências de portadoras, espaçadas entre si por 10MHz. A alocação dos canais DSRC representada na Figura 7, inclui um canal de controle (canal 178) utilizado exclusivamente para as comunicações de segurança, quatro canais de serviço (174,176,180 e 182), e, nas extremidades, os canais especiais 172 e 184, reservados para aplicações de emergência e segurança pública, respectivamente (SOUZA *et al.*, 2011).

Figura 7 – Espectro de frequências DSRC reservado pela FCC



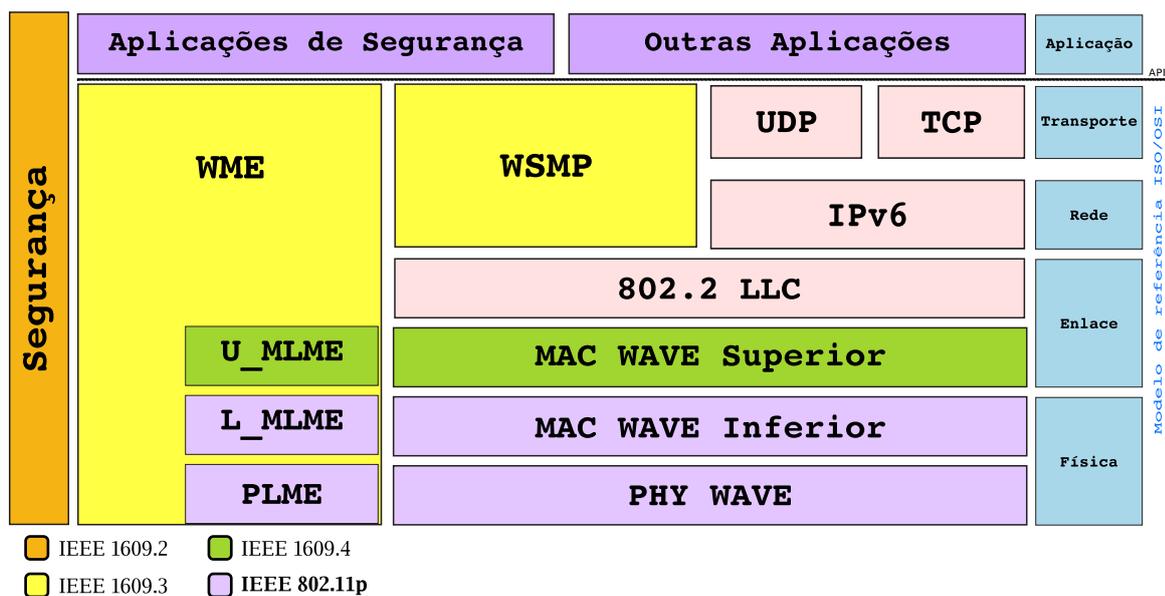
Fonte: Adaptada de Jiang e Delgrossi (2008).

Nos esforços de descrição das comunicações de curto alcance realizados em 2001, o grupo de trabalho E 2213 da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) responsável pela padronização dessa tecnologia de comunicação, optou pelas especificações do padrão IEEE 802.11a como principal tecnologia de rádio para DSRC. Posteriormente, em 2003, ASTM e IEEE adotaram o DSRC para padrão de comunicação em VANET. Uma vez que, DSRC é essencialmente o padrão IEEE 802.11a adequado para operações de baixa sobrecarga nesse espectro, conseqüentemente, em 2004 os trabalhos foram absorvidos pelo grupo de padrões IEEE 802.11, onde DSRC é tratado como IEEE 802.11p e integra a arquitetura WAVE (IEEE, 2013).

2.3.2 Acesso Sem Fio em Ambiente Veicular - WAVE

O WAVE/IEEE 802.11p não constitui um padrão independente, mas é considerado uma tecnologia sem fio promissora para agregar maior segurança ao transporte veicular e eficiência às comunicações da VANET (ALASMARY; ZHUANG, 2012; ROZAS-RAMALLAL *et al.*, 2013). Na arquitetura WAVE são definidos avanços ao padrão geral IEEE 802.11 (UZCÁTEGUI; ACOSTA-MARUM, 2009; MSADAA; CATALDI; FILALI, 2010; IEEE, 2013). Além disso, como apontado na Figura 8, essa arquitetura representa uma família de padrões que não se restringem às camadas MAC e PHY (KARAGIANNIS *et al.*, 2011), de forma que, por meio de extensões ao IEEE 802.11, a proposta do padrão IEEE 802.11p pretende descrever um conjunto de funções e serviços necessários às aplicações em conformidade WAVE, para operar em ambiente dinâmico e para realizar a troca de mensagens sem participar de um BSS (*Basic Service Set*), característico ao conjunto IEEE 802.11.

Figura 8 – Arquitetura WAVE com padrões IEEE 1609 e IEEE 802.11p



Fonte: Adaptada de Alves *et al.* (2009), Jiang e Delgrossi (2008).

Do mesmo modo, o IEEE 802.11p procura definir a técnica de sinalização WAVE e as funções de interface, que são controladas pelo nível IEEE 802.11 MAC. Diferente do tradicional IEEE 802.11, o IEEE 802.11p não contempla autenticação ou associação nas camadas MAC e PHY. Esta é uma consequência direta dos modos normais de autenticação e associação, que não atenderiam aos rigorosos requisitos de tempo estabelecidos no ambiente de VANET, como por exemplo, na situação em que dois veículos se movem para sentidos opostos. O IEEE 802.11p WAVE corresponde somente à uma parte que integra um conjunto de padrões, todos relacionados com as camadas

de protocolos para operações baseadas no espectro DSRC (JIANG; DELGROSSI, 2008; BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011).

2.3.2.1 Padrão IEEE 1609

A arquitetura WAVE, com padrão IEEE 802.11p, acomoda também camadas para protocolos de segurança, acesso ao meio e operações em múltiplos canais de comunicação. No trabalho de padronização das comunicações em VANET, o IEEE introduziu toda uma família de protocolos (1609) na arquitetura WAVE, inclusive com uma alternativa à camada de rede da arquitetura TCP/IP, em conformidade ao ilustrado na Figura 8. Essa segmentação do padrão proposto em diferentes camadas, garante um tratamento modular. O conjunto de protocolos dessa família é definido nos documentos IEEE P1609.{1,2,3,4,5 e 6} (MOHAMMAD; RASHEED; QAYYUM, 2011; KARAGIANNIS *et al.*, 2011), conforme segue:

- o padrão IEEE 1609.1 para gerenciamento dos requisitos das aplicações;
- o padrão IEEE 1609.2 para questões de segurança;
- o padrão IEEE 1609.3 para serviços de roteamento e transporte;
- o padrão IEEE 1609.4 para operação multicanal no padrão DSRC;
- o padrão IEEE 1609.5 para gerenciamento;
- o padrão IEEE 1609.6 para intermediar recursos complementares;
- os padrões IEEE 802.11 e 802.11p para acesso ao meio (MAC) e físico (PHY).

As camadas superiores da família IEEE 1609 respondem pela operação e complexidade relacionadas com o conjunto de canais DSRC. O padrão IEEE 1609.1 detalha as características de gerenciamento que permitem a correta operação das aplicações. O IEEE 1609.2 descreve as considerações associadas às questões para a segurança das comunicações. Para tratamento das aplicações relacionadas com a segurança de tráfego nas camadas de rede e transporte, o IEEE 1609.3 fornece o protocolo único dedicado WSMP, que abrange a configuração e gerenciamento do enlace lógico WAVE. Em interface direta ao IEEE 802.11p, o IEEE 1609.4 possibilita a operação das camadas superiores por meio de múltiplos canais do espectro, sem exigir conhecimento dos parâmetros PHY. O IEEE 1609.5 é uma camada que trata de gerenciamento, enquanto o IEEE 1609.6 oferece uma camada intermediária adicional, entre as camadas de transporte e aplicação, para recursos complementares na camada das aplicações.

Além disso, o padrão IEEE 802.11p descreve a operação da camada MAC da arquitetura WAVE e está limitado pelo escopo do IEEE 802.11, o qual é estritamente um padrão de nível MAC e PHY, que se destina a trabalhar dentro de um único canal lógico. Descrições detalhadas do IEEE 802.11p são elaboradas em Jiang e Delgrossi (2008), Alves *et al.* (2009), Booyesen, Zeadally e Rooyen (2011) e Mohammad, Rasheed e Qayyum (2011).

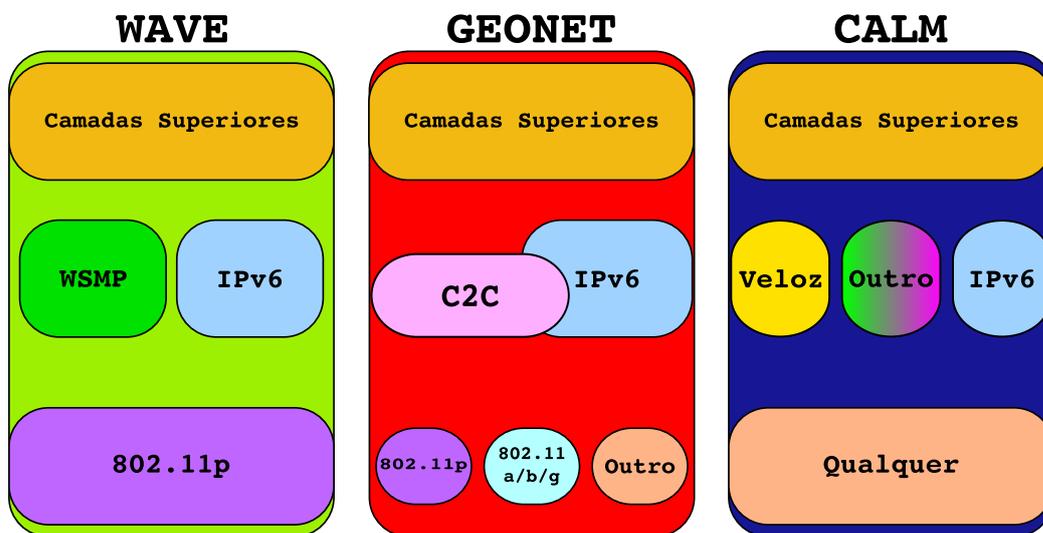
2.3.2.2 Protocolo de mensagens curtas WAVE - WSMP

O WSMP (*Wave Short Message Protocol*) é uma alternativa aos protocolos de transporte TCP/UDP e ao IPv6 para a arquitetura WAVE, como é possível observar na Figura 8. A proposta deste recurso é de oferecer maior eficiência ao WAVE, já que as aplicações pretendidas almejam requisitos de latência muito baixa e não são orientadas a conexão. Muitas aplicações de *broadcast* usam WSMP para minimizar o tamanho e reduzir o atraso em mensagens críticas de segurança (SOUZA *et al.*, 2011).

2.3.2.3 Outras arquiteturas

Pesquisas de diversas agências para padronização, tais como IEEE, ETSI (*European Telecom Standardization Institute*) e ISO (*International Standard Organization*), conduziram a diferentes arquiteturas para VANET. O trabalho de Rasheed *et al.* (2013) realiza uma comparação abrangente entre três propostas de arquiteturas ilustradas na Figura 9, a WAVE, a GeoNet (GeoNet project, 2010) e a CALM (C2C-CC, 2018; MOHAMMAD; RASHEED; QAYYUM, 2011), a partir da perspectiva das diferentes camadas.

Figura 9 – Arquiteturas WAVE, GeoNet e CALM



Fonte: Adaptada de Rasheed *et al.* (2013).

São três arquiteturas com diferentes abordagens para tratar as funcionalidades da camada de transporte, da camada de rede e para resolver as questões da camada MAC. A arquitetura WAVE oferece suporte para um único protocolo de camada MAC, enquanto as outras arquiteturas oferecem flexibilidade com suporte a uma variedade de protocolos e interfaces. De forma análoga, a camada de rede na CALM oferece maior flexibilidade em comparação com as outras duas arquiteturas. Entretanto, a implementação do projeto WAVE é a de menor complexidade (RASHEED *et al.*, 2013) e mais explorada na literatura.

DIFUSÃO DE DADOS EM VANET

SOLUÇÕES ITS impõem especificações exclusivas, que implicam em um conjunto diversificado de limites. São critérios para tolerância a atrasos, para taxa de transferência, para perda de mensagens, entre outras restrições na comunicação V2V ou V2I da VANET. Atender de forma satisfatória essas métricas corresponde ao desafio de equilibrar os efeitos da mobilidade, das flutuações na densidade, na topologia e das variações do fluxo de tráfego de veículos nas vias. Adversidades que incidem sobre VANET e comprometem a comunicação entre os nós dessas redes. Portanto, determinar o modo de comunicação apropriado para VANET impacta diretamente sobre os resultados em ITS.

3.1 Métodos de Comunicação V2V

Conforme o trabalho de [Lin, Chen e Lee \(2010\)](#), os métodos utilizados para a comunicação entre os nós das redes veiculares formam cinco grupos, identificados como: (i) *unicast*, (ii) *broadcast*, (iii) *multicast*, (iv) *geocast* e, (v) *clustercast*. A seleção conveniente de um destes métodos depende de fatores relacionados com o propósito da aplicação, como por exemplo, o tipo de dado a ser transmitido ou as restrições reivindicadas pela própria aplicação que os utiliza. Mensagens de aplicações para alertas de colisão ou para o controle de cruzamentos devem possuir uma prioridade alta e baixa latência, no sentido de garantir a segurança dos condutores. Outras aplicações, como para a cobrança de taxas ou alertas de congestionamentos nas vias, são mais tolerantes aos atrasos e até mesmo a eventuais perdas de mensagens na comunicação veicular.

Na continuidade, descreve-se de forma concisa, entretanto suficiente, a proposta de cada um dos cinco métodos utilizados no contexto da comunicação em VANET,

conforme Lin, Chen e Lee (2010):

- i) Comunicação por *unicast*: é responsável pelo estabelecimento dos caminhos de uma determinada origem para cada destino específico em protocolos de roteamento e em aplicações que dependem de segurança, como transações financeiras ou distribuição de vídeo, por exemplo. Neste modo de transmissão de dados, o nó emissor define explicitamente o endereço do receptor da mensagem no momento do envio. O receptor pode fazer parte de sua vizinhança em comunicação direta ou estar a múltiplos saltos de comunicação do emissor. Este modo de comunicação possui várias aplicações importantes, como a comunicação fim-a-fim entre dois veículos ou entre um veículo e uma RSU. Serviços de acesso contínuo à Internet e a transferência de arquivos, são exemplos que utilizam a comunicação *unicast* como requisito para sua implementação. Entretanto, em VANET, estabelecer e manter este modo de comunicação por meio de conexão é instável, em consequência da mobilidade, velocidade e da fragilidade de aderência dos enlaces;
- ii) Comunicação por *broadcast*: a difusão de mensagens *broadcast* é amplamente utilizada na comunicação em VANET, principalmente V2V. Neste método, o nó emissor difunde suas mensagens sem um endereço de destino único, abrangendo assim todos os nós da vizinhança local, ou seja, o alcance do sinal de rádio estabelece a vizinhança. Deste modo todos os nós dentro do raio de comunicação do emissor recebem as mensagens. A difusão por *broadcast* é essencial para o funcionamento de vários serviços básicos em ITS, principalmente para aplicações de segurança, como alertas de colisão e acidentes na pista ou no controle de acesso em cruzamentos sem sinalização. Desfavoravelmente, este método incorre em restrições de escalabilidade, embora a comunicação por *broadcast* aumente a probabilidade da cobertura, de forma que todos os nós da VANET venham a receber uma mensagem difundida por um de seus membros. Em situações de maior densidade, como em congestionamentos por exemplo, o aumento do número de nós na VANET pode levar ao problema de tempestade *broadcast* (*broadcast storm*), ao aumento das colisões na transmissão e até mesmo, a completa deterioração das comunicações da rede (TONGUZ *et al.*, 2007);
- iii) Comunicação por *multicast*: este método busca atender simultaneamente diversos receptores interessados em uma única transmissão. O nó emissor pode encaminhar um pacote de dados para múltiplos destinatários, desde que estes destinos pertençam a um mesmo grupo de comunicação. Neste caso, por exemplo, o grupo de comunicação pode ser formado por veículos que possuem determinado tipo de informação ou que compartilham de um mesmo serviço de rede. Embora

redes, como em *MANET*, de nós com baixa mobilidade acolham o *multicast*, a formação, identificação e manutenção dos grupos de comunicação por todos os seus integrantes originam uma quantidade significativa de mensagens de controle. Como a dinâmica em *VANET* se caracteriza em elevada mobilidade dos veículos, a composição dos grupos sofre frequentes alterações, conseqüentemente, induz um número ainda maior de mensagens de controle na rede. Portanto, com um custo implícito, o *multicast* também resulta em comunicação pouco escalável na *VANET*;

- iv)* Comunicação por *geocast*: uma região geográfica estabelece os limites de cobertura para a comunicação. Por meio da comunicação *geocast* os pacotes de dados são enviados para um ou para múltiplos destinatários. Todos dentro de uma determinada área geográfica, fora da qual, os dados são descartados. Esta técnica é muito utilizada em serviços *ITS* para difundir alertas de incidentes, congestionamentos ou na coleta de dados sobre o tráfego de uma região de interesse. A estratégia de comunicação *geocast* representa uma alternativa para controlar o número de mensagem na rede, pois apenas um conjunto de veículos da *VANET* receberá os dados, sem prejuízo para o restante da rede. Sua eficiência depende diretamente de dispositivos de localização, como *GPS* (*Global Positioning System*) por exemplo, a partir dos quais cada nó decide para onde e até quando uma mensagem deve ser transmitida e retransmitida. Porém, a comunicação *geocast* em redes de arquitetura plana (*LIN*; *CHEN*; *LEE*, 2010), sem agrupamentos, agrega maior atraso na comunicação *V2V* e está sujeita ao comprometimento da escalabilidade;
- v)* Comunicação baseada em agrupamentos (ou *clustercast*): O *clustercast* utiliza um conjunto de veículos associados, que formam um grupo virtual. Um elemento do grupo, identificado como nó líder, coordena a comunicação. Os membros que integram o agrupamento podem se comunicar diretamente entre si, ou através do líder, dependendo da forma como agrupamento é implementado. A tarefa de enviar uma mensagem para fora do agrupamento é responsabilidade do nó líder, que recebe mensagens dos membros do grupo e as reenvia diretamente ou por meio de nós intermediários (*gateways*) na direção do destino final. O número de mensagens na rede é reduzido com os agrupamentos, pois o impacto gerado pela mobilidade dos nós sobre sua topologia passa a ser tratado internamente ao agrupamento, isentando o restante da rede. Entretanto, a mobilidade dos nós, os problemas com atrasos e perdas de mensagens, resultam em frequentes partições nos enlaces de comunicação, o que dificulta ou mesmo desestrutura a formação de agrupamentos duradouros na *VANET*. Mesmo assim, a organização hierárquica na forma de agrupamentos (*clusters*) dos nós da *VANET*, tem se

mostrado eficaz na implementação de estratégias para disseminação de dados nestas redes (GIRINATH; SELVAN, 2010).

Na seção seguinte (Seção 3.2), os procedimentos adotados como estratégia de disseminação de dados e para roteamento em VANET são contextualizados, os quais fazem uso dos métodos de comunicação apresentados nesta seção.

3.2 Estratégias de Roteamento e Disseminação para as VANET

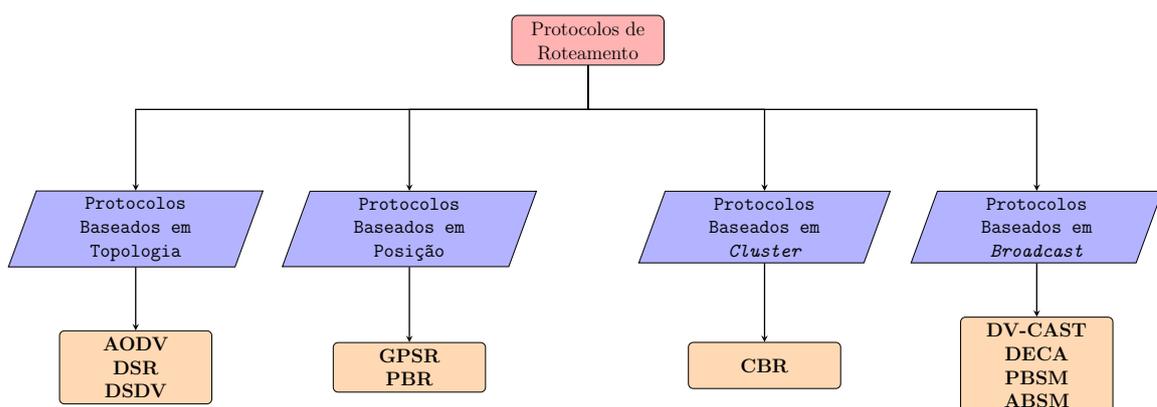
Nas camadas inferiores das arquiteturas elaboradas para VANET, os nós promovem a interação por meio de tecnologias que empregam por exemplo, o padrão IEEE 802.11p para comunicação sem fio. Além disso, com o propósito de assegurar a comunicação nesse domínio, VANETs frequentemente integram múltiplas tecnologias de rede (BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011). A camada imediatamente acima (IEEE 1609.3 na arquitetura WAVE), corresponde às camadas de rede e transporte no modelo de referência OSI (ou arquitetura TCP/IP na Figura 8). Portanto, esta camada é responsável pelos serviços que abrangem o controle do enlace lógico, o endereçamento dos nós, o roteamento e também o transporte dos datagramas. Entretanto, estabelecer e manter rotas representam procedimentos desafiadores em VANET, consequência direta da própria natureza dinâmica dos nós, das alterações de topologia e da alta instabilidade dos enlaces.

Diversas das características da mobilidade dos nós na VANET impactam, de forma significativa, o desempenho de protocolos de roteamento e estratégias de disseminação de dados (TONGUZ *et al.*, 2007). Assim, propostas como o AODV (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*) (PERKINS; ROYER, 1999), DSR (*Dynamic Source Routing*) (JOHNSON; MALTZ, 1996) e o DSDV (*Destination Sequence Distance Vector*) (PERKINS; BHAGWAT, 1994), entre outras elaboradas para atender MANET, não proporcionam resultados satisfatórios para a adoção imediata em VANET de forma eficiente (VINAYAKRAY-JANI; SANYAL, 2012). Isso se deve às rápidas variações na topologia, instabilidades nos enlaces de conectividade, às altas velocidades e às flutuações na densidade veicular dessas redes. Procedimentos elaborados especificamente para VANET, devem adaptar-se de imediato às alterações nos padrões de mobilidade dos nós. Porém, embora a mobilidade exponha dependência espacial ou temporal entre os nós (DIVECHA *et al.*, 2007), tais características são insuficientes para descrever importantes aspectos da mobilidade, mesmo de cenários plausíveis para a implementação de MANET. Portanto, essas características representam métricas independentes, mas que eventualmente influenciam o desempenho de uma estratégia (VINAYAKRAY-JANI; SANYAL, 2012).

Na VANET os nós comunicam-se de forma cooperativa utilizando *broadcast*, *multicast* ou *unicast* como paradigma primário. Os protocolos de roteamento implementam estratégias para entregar mensagens, por meio da comunicação direta ou de caminhos com múltiplos saltos de comunicação, mas sem uma infraestrutura centralizada. Na tarefa de disseminação de dados, os veículos utilizam o recurso de *broadcast*, onde um nó envia mensagem para todos os outros integrantes da rede, como estratégia mais rudimentar. Para atender veículos dentro de uma determinada área de interesse, a operação de disseminação é realizada em *multicast* (ou *geocasting*). O *unicast* sustenta a comunicação de uma origem específica para um único destino, mesmo que por meio de procedimento de transmissão *multihop*.

No estudo elaborado por Li e Wang (2007), paradigmas de roteamento baseados na posição e *geocasting* são promissores para VANET, devido às restrições de alcance geográfico. Seu desempenho, entre outros fatores, depende fortemente do modelo de mobilidade, do ambiente de condução e da densidade de veículos. Ainda no mesmo trabalho, Li e Wang (2007) descrevem que os protocolos de roteamento em VANET com arquitetura puramente *ad hoc*, são estruturados em cinco componentes de discussão: (i) o roteamento *ad hoc* ou baseado em topologia, (ii) roteamento baseado em posição, (iii) baseado em agrupamento (*clustercast*), (iv) o *broadcast* e (v) o roteamento *geocast*. Já a abordagem realizada por Kumuthini e Kumari (2013), organiza e segmenta os protocolos para o roteamento por meio de quatro grupos de interesse, como estruturado no diagrama da Figura 10, que também associa representantes característicos para cada grupo.

Figura 10 – Protocolos de roteamento em VANET



Fonte: Adaptada de Kumuthini e Kumari (2013).

Da mesma forma que é determinante no desempenho de protocolos do tipo *geocast* (LI; WANG, 2007), um modelo de mobilidade (ou de tráfego) realista é fundamental para resultados precisos nas avaliações do desempenho das estratégias para roteamento ou disseminação. Também é componente indispensável para prever as posições dos veículos, e assim, tornar inteligentes as decisões de rota em protocolos para VANET.

Evidências de resultados, significativamente diferentes, por meio da utilização de um modelo de mobilidade que considera as condições das vias, condições urbanas, de velocidade do tráfego, de densidade de veículos e obstáculos, são apresentadas no estudo realizado por [Saha e Johnson \(2004\)](#).

Protocolos de roteamento de propósito geral projetados para MANET, como o AODV e o DSR, não preservam rotas a menos que necessário, para reduzir a sobrecarga com poucos fluxos de rede. Rotas falhas ocasionam excessiva perda de dados no AODV, inviabilizando qualquer iniciativa que exija a execução de procedimento equivalente ao *three-way handshake* para estabelecimento da conexão TCP, por exemplo. Efetivamente, a dinâmica elevada proveniente da mobilidade acarreta pouca convergência de rotas e baixa taxa de comunicação, e assim, induz adequações ou mesmo inovações nos protocolos de roteamento *ad hoc*, análogo ao observado com o GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) ([KARP; KUNG, 2000](#)), que é uma das abordagens baseadas em posição. Na [Tabela 2](#) são apresentadas algumas das alternativas disponíveis na literatura para roteamento e disseminação de dados, em exemplo ao método de comunicação utilizado com cada estratégia.

Nos comentários de [Chen et al. \(2011\)](#), a capacidade de disseminação de dados em *multihop* é uma das principais vantagens da VANET. Em geral, o procedimento *multihop* requer alguma informação da localização dos nós e também, um método de encaminhamento de dados até seus destinos. Portanto, com essa orientação a tarefa pode ser realizada por meio de dois tipos de tecnologias:

- um protocolo de roteamento ou,
- por uma combinação do serviço de localização e um método de encaminhamento de pacotes.

Devido à própria natureza *multihop* da VANET, o *flooding* providencia um mecanismo fundamental para implementar o *broadcast multihop*. Esta é uma técnica amplamente utilizada em estratégias de disseminação, para transmitir dados da origem a um ou mais destinos na VANET. Acomoda não só o encaminhamento, mas também a entrega de informações sem a construção de um circuito de dados, pois cada nó assume a responsabilidade de determinar se retransmitirá a mensagem ([KUMUTHINI; KUMARI, 2013](#)). Desafortunadamente, o *flooding* adiciona uma sobrecarga significativa de comunicação, devido ao envio redundante em *broadcast*. Por isso, alguns métodos de *flooding* mais eficientes foram adequados nos algoritmos V-TRADE (*Vector-Based TRacking DEtection*), UMB (*Urban Multihop Broadcast*), AMB (*Ad hoc Multihop Broadcast*), MHVB (*Enhanced Multihop Vehicular Broadcast*), MDDV (*Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm*) e SB (*Smart Broadcast*).

¹ [Namboodiri, Agarwal e Gao](#)

² [Ooi e Fisal](#)

Tabela 2 – Características de protocolos para roteamento em VANET consolidados na literatura

Protocolos de Roteamento	Tipo	Informação de Posição? (Como usar)	Estrutura Hierárquica	Simulador de Rede	Cenário de Simulação
AODV	<i>Unicast</i>	Não	Não	-	-
DSR	<i>Unicast</i>	Não	Não	-	-
GPSR	<i>Unicast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	-	-
PRAODV / PRAODV-M ¹	<i>Unicast</i>	Seleção de rota (previsão de tempo de vida)	Não	NS2	Modelo de rodovia simples (único segmento de 20km)
AODV-bis ²	<i>Unicast</i>	Route-Req-Forwarding	Não	-	-
GSR ³	<i>Unicast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	NS2	Modelo de cidade real (de mapa)
GPCR ⁴	<i>Unicast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	NS2	Modelo de cidade real (de mapa)
A-STAR ⁵	<i>Unicast</i>	Encaminhamento de pacote (usa info. de tráfego)	Não	NS2	Modelo de cidade em grade
COIN ⁶	<i>Unicast</i>	Formação de cluster	Sim	Próprio	Modelo de rodovia real
LORA_CBF ⁷	<i>Unicast</i>	Encaminhamento de pacote (previsão de localização)	Sim	OPNET	Círculo simples e estrada quadrada
Flooding	<i>Broadcast</i>	Não	Não	-	-
UMB ⁸	<i>Broadcast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	Próprio	Entroncamento simples
V-TRADE / HV-TRADE ⁹	<i>Broadcast</i>	Classifica grupo de encaminhamento	Não	Próprio	Entroncamento simples
BROADCOMM ¹⁰	<i>Broadcast</i>	Formação de células	Sim	Próprio	Modelo de rodovia simples (apenas 15 nós)
Msg Dis Protcl ¹¹	<i>Geocast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	Próprio	Modelo de rodovia simples (10km de comprimento)
IVG ¹²	<i>Geocast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	Glomosim	Modelo de rodovia simples (10km de comprimento, 100/200 nós)
Cached Geocast ¹³	<i>Geocast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	NS2	Rede quadrática (tamanho de 1km até 4km, 100 nós)
Abiding Geocast ¹⁴	<i>Geocast</i>	Encaminhamento de pacote	Não	-	-

Fonte: Adaptada de Li e Wang (2007).

Para comunicações *V2V*, *multicast* ou *broadcast* podem ser mais aplicáveis que protocolos *unicast*, devido às características de suas aplicações. As tecnologias *multicasting* podem ser classificadas como de abordagem baseada em topologia e de abordagem baseada em localização (CHEN *et al.*, 2011). A abordagem baseada em topologia seleciona os nós de encaminhamento, apoiando-se na informação de topologia da rede obtida por meio de uma sucessão de consultas e respostas, como acontece nos algoritmos ODMRP

³ Lochert *et al.*

⁴ Lochert *et al.*

⁵ Liu *et al.*

⁶ Blum, Eskandarian e Hoffman

⁷ Santos *et al.*

⁸ Korkmaz *et al.*

⁹ Sun *et al.*

¹⁰ Durrese, Durrese e Barolli

¹¹ Briesemeister *et al.*

¹² Bachir e Benslimane

¹³ Maihofer e Eberhardt

¹⁴ Maihöfer, Leinmüller e Schoch

(*On-Demand Multicast Routing Protocol*), *MOLSR* (*Multicast Optimized Link State Routing*), *MAODV* (*Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector*) e *GHM* (*Group Header Multicast*). A abordagem baseada em localização seleciona os nós de encaminhamento em função da informação de localização, aproveita a posição do remetente e do destinatário, as posições dos nós vizinhos ou coordenadas da região de *multicast*. Nesta aproximação, não ocorre a sobrecarga de controle que a abordagem regrada em topologia herda. Este tratamento é dividido em dois esquemas: as abordagens com associação *multicast* independente e dependente de localização. São exemplos do esquema independente de localização os algoritmos *PBM* (*Position-Based Multicast*), *SPBM* (*Scalable Position Based Multicast*) e *RSGM* (*Robust and Scalable Geographic Based Multicast*). Enquanto que o *LBM* (*Location-Based Multicast*), o *RBM* (*Role-Based Multicast*) e *IVG* (*Inter-Vehicle Geocast*) figuram entre os esquemas com associação *multicast* dependente de localização.

Em síntese, os métodos de disseminação são estruturados como *geocast/broadcast*, *multicast* e *unicast*. Apesar do acervo de pesquisas, a disseminação de dados permanece como desafio, visto que é evidentemente conturbado para uma única estratégia, manter um comportamento de desempenho uniforme perante a dinâmica de instabilidade da *VANET*. Por exemplo, para uma rede esparsa o *flooding* cego seria uma escolha razoável, porém desapropriada para redes densas (CHEN *et al.*, 2011). Portanto, sucede a necessidade por técnicas de disseminação que são flexíveis às situações da dinâmica dessas redes.

3.2.1 Desafios na Disseminação

A Seção 2.2 e a Seção 3.2 trataram respectivamente, sobre o acesso ao meio físico e o encaminhamento de mensagens em *VANET*. Por meio das características apresentadas nestas seções, é possível constatar um conjunto vasto de condições que podem influenciar a probabilidade de recebimento das mensagens. Nas camadas inferiores, o padrão IEEE 802.11p por si só, não confere um nível de qualidade suficiente para *VANET*. Aumentar a potência de transmissão por exemplo, diminui a atenuação do sinal, mas ocasiona a saturação do canal e em consequência, ocorrem mais colisões próximas ao transmissor. Além disso, a mobilidade elevada dos veículos e a utilização de transmissões de curto alcance resultam em uma rede de topologia instável sujeita a desconexões. Sobre esses fatores, também incide ainda o efeito das flutuações na densidade dos nós que integram a *VANET*. Essas condições de operação comprometem o encaminhamento no processo para a disseminação dos dados em *VANET*. Portanto, representam restrições à utilização indiscriminada das mesmas estratégias projetadas para atender *MANET* (TONGUZ *et al.*, 2007).

Na literatura, várias das questões relacionadas com a disseminação de dados são tratadas por meio de propostas de protocolos de roteamento para problemas específicos.

Por exemplo, o encaminhamento baseado em contenção (CBF) na disseminação de informação *multihop*. Nesta abordagem ocorre a seleção oportunista do próximo salto, em função da situação física, e o critério de contenção pode ser baseado na posição de um nó em relação à posição do destino desejado (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008). Propostas mais recentes se favorecem de informações de predição da mobilidade e de trajeto dos veículos, em conjunto com o serviço de localização oferecido por sistemas como o de GPS. Além disso, também definem uma área de interesse (ROI) para a disseminação, pois são recursos que permitem mitigar os frequentes rompimentos que ocorrem em VANET (CHEN *et al.*, 2011).

Fundamental na VANET, a disseminação de dados constitui um procedimento desafiador que, primeiramente, foi tratado por meio da difusão de mensagens. Nela, uma transmissão inicial promove a entrega da mensagem para os veículos que estão no intervalo de alcance do sinal de rádio. A subsequente retransmissão indiscriminada das mensagens por outros nós, que ocasiona a inundação da ROI, proporciona a cobertura necessária aos veículos mais distantes (LU; POELLABAUER, 2011). No entanto, essa abordagem básica utilizada em estratégias projetadas para realizar a difusão de dados se mostra incapaz de lidar adequadamente com os problemas associados, como a tempestade *broadcast*, juntamente com situações de densidade veicular baixa e irregular, as quais conduzem ao particionamento da rede, além das eventuais colisões, perdas de pacotes, interrupção dos enlaces ou atrasos.

Caracteristicamente, nos cenários de rede esparsa a densidade de nós na ROI é insuficiente e não oferece condições para estabelecer a infraestrutura necessária à propagação dos dados entre agrupamentos vizinhos de veículos. Inadvertidos sobre essa inconsistência, após a retransmissão que tem efeito inócuo, as mensagens são descartadas e, portanto, perdidas no particionamento devido a ausência de veículos para recebê-las (MENEGUETTE *et al.*, 2014a; MENEGUETTE *et al.*, 2014b).

Entretanto, a disseminação deve ocorrer mesmo em ambientes caracterizados pelas adversidades, em situações de altas velocidades, sob condições de variação na densidade de veículos e com a presença de obstáculos para a transmissão. Uma vez que os protocolos de roteamento são os responsáveis pela disseminação das informações de emergência e segurança em VANET, devem ser projetados para tratar conjuntamente questões relacionadas ao problema da tempestade de *broadcast*, ao problema de partição da rede e à fragmentação temporal da rede. Como na proposta da estratégia DRIVE (*Data dissemination pRotocol In VEhicular networks*) elaborada por Villas *et al.* (2014), onde a comunicação V2V acontece com o amparo de técnicas controladas e otimizadas de *flooding*.

O problema da tempestade de *broadcast*, frequente em cenários de maior densidade de veículos, é o resultado de vários nós competindo simultaneamente por uma

transmissão. Esta situação pode saturar a camada **MAC** devido ao alto tráfego e às colisões de pacotes. Também, pode ocasionar o congestionamento da rede e maiores atrasos. No problema de partição da rede, a distribuição esparsa dos veículos na área de interesse compromete a disseminação entre grupos próximos. A partição da rede por pequenos períodos corresponde à fragmentação temporal.

É necessário lidar também com as inconstâncias nas condições da densidade do tráfego veicular em cenários heterogêneos, como urbano e rodoviário, a exemplo das observações desenvolvidas em [Artimy \(2007\)](#). Nesta direção, o trabalho realizado por [Meneguetto et al. \(2014a\)](#) ([MENEGUETTE et al., 2014a](#); [MENEGUETTE et al., 2014b](#)) descreve uma proposta de dinâmica singular, a estratégia **ADDHV** (*Autonomic Data Dissemination in Highway for VANETs*), que ainda de forma simplificada, utiliza computação autônoma para executar a tarefa de disseminação sustentada em um sistema de decisão proativo.

São muitas as exigências para serem observadas, as restrições de atraso, as restrições de sobrecarga de comunicação, a topologia instável, a mobilidade, as frequentes desconexões, a alta densidade veicular e, de outra forma, a densidade veicular insuficiente. Neste contexto, protocolos de roteamento mais eficientes para promover a disseminação de dados, nas diferentes condições de operação em **VANET**, representam ainda um importante objeto de pesquisa.

LÓGICA FUZZY

A teoria das probabilidades pode ser utilizada para formalmente representar informação em ambientes de decisão estocásticos. Descreve a incerteza associada à aleatoriedade dos eventos. A teoria dos conjuntos *fuzzy* (ou nebulosos), por sua vez, procura representar a incerteza associada com informações vagas ou imprecisas. Inicialmente publicada em 1965, essa teoria foi desenvolvida por Zadeh (1965), para tratar do aspecto vago da informação.

Dois dos principais aspectos da imperfeição da informação são a imprecisão e a incerteza. As duas características são intrinsecamente ligadas e opostas entre si: quanto mais aumenta a incerteza mais diminui a imprecisão, e a forma recíproca também é válida. Por exemplo, supondo que com segurança é possível afirmar que o almoço inicia entre 11h e 12h. Ao obrigar uma opinião mais precisa, tende-se a aumentar a incerteza, informando por exemplo, que o almoço iniciará as 11h30m com uma probabilidade diferente de 1. Uma informação imprecisa também pode ser vaga, a exemplo de quando se observa que o almoço inicia *por volta das 11h30m* (SANDRI; CORREA, 1999).

As teorias mais conhecidas para tratar da imprecisão e da incerteza são respectivamente a teoria dos conjuntos e a teoria de probabilidades. Embora úteis, estas teorias nem sempre conseguem extrair a riqueza da informação fornecida. A teoria dos conjuntos não é capaz de tratar o aspecto vago da informação e a teoria de probabilidades, na qual a probabilidade de um evento determina completamente a probabilidade do evento contrário, é mais adequada para tratar de informações frequentistas do que aquelas fornecidas pelo indivíduo. A teoria clássica dos conjuntos pode ser vista então como um caso particular desta teoria mais geral. A partir de 1978, Zadeh (1965) desenvolveu a teoria de possibilidades (ZADEH, 1999), que trata a incerteza da informação de forma análoga à teoria de probabilidades. Esta teoria, por ser menos restritiva, pode

ser considerada mais adequada para o tratamento de informações fornecidas pelo indivíduo que a de probabilidades. Efetivamente, mesmo no discurso usual a noção de possibilidade é menos restritiva que aquela de probabilidade: é mais amplo dizer que algum evento é possível do que provável.

A teoria dos conjuntos nebulosos e a teoria de possibilidades são intimamente relacionadas. Por exemplo, o conjunto nebuloso que modela a informação *idade avançada* pode ser usado para modelar a distribuição de possibilidade da idade de uma dada pessoa, sobre a qual só se sabe que é idosa. A relação entre estas teorias é importante no sentido de que possibilita tratar tanto a imprecisão, quanto a incerteza de um conjunto de informações em um único ambiente formal. De fato, a maior parte do tempo não é necessário fazer distinção entre um conjunto nebuloso e uma distribuição de possibilidades. Estas teorias têm cada vez mais adesão em sistemas que utilizam informações fornecidas pelos indivíduos para automatizar procedimentos quaisquer, como por exemplo no controle de processos, no auxílio à decisão e outros sistemas complexos.

A teoria dos conjuntos nebulosos, quando utilizada em um contexto lógico, como o de sistemas baseados em conhecimento, é conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa ou lógica *fuzzy*. É uma tecnologia bem-sucedida no desenvolvimento de sistemas para processos sofisticados (DRIANKOV; HELLENDORRN; REINFRANK, 1993; DUTTA, 1993), pois requerimentos complexos podem ser implementados em sistemas simples, de fácil manutenção. Essa abordagem é especialmente interessante quando o modelo matemático está sujeito a incertezas (CHIU; CHAND, 1993; WEIL; PROBST; GRAF, 1992). Num sistema nebuloso a base de regras é composta por um acervo de regras de produção escritas como Se <premissa> Então <conclusão>. Declarações dessa forma definem ações de resposta, como por exemplo o domínio que é mapeado na Figura 29, em consequência dos diversos intervalos de valores que as variáveis de estado do problema podem assumir (KLIR; FOLGER, 1988). Estes intervalos de valores são modelados por conjuntos nebulosos e formalmente denominados de *termos linguísticos*.

A seção seguinte (Seção 4.1) contribui com definições básicas da teoria dos conjuntos nebulosos, de forma similar às operações realizadas nos conjuntos *crisp*. Conceitos como o *complemento* (*negação*), a *intersecção*, a *união*, e a *implicação* são abordados nesta teoria, além de algumas das propriedades associadas a estas operações, mantendo conformidade ao trabalho elaborado em Sandri e Correa (1999).

4.1 Conceitos Básicos para a Teoria dos Conjuntos Nebulosos

Formalmente, um conjunto nebuloso F do universo de discurso Ω é definido por uma função de pertinência $\mu_F : \Omega \rightarrow [0, 1]$. Essa função associa a cada elemento x de Ω o grau $\mu_F(x)$, com o qual x pertence ao conjunto nebuloso F (ZADEH, 1965). A função de pertinência $\mu_F(x)$ indica o grau de compatibilidade entre x e o conceito expresso por F :

- $\mu_F(x) = 1$ indica que x é completamente compatível com F ;
- $\mu_F(x) = 0$ indica que x é completamente incompatível com F ;
- $0 < \mu_F(x) < 1$ indica que x é parcialmente compatível com F , com grau $\mu_F(x)$.

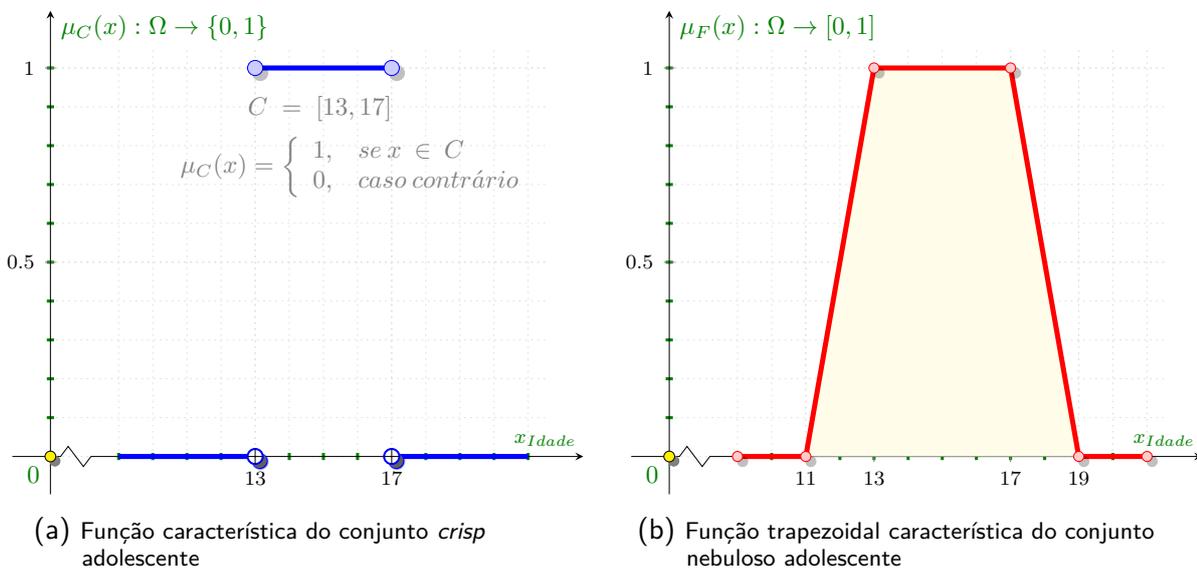
Um conjunto F da teoria dos conjuntos clássica pode ser visto como um conjunto nebuloso específico, denominado usualmente de conjunto *crisp*, para o qual $\mu_F : \Omega \rightarrow \{0, 1\}$, ou seja, a pertinência é do tipo *tudo ou nada, sim ou não*, e não gradual como na abordagem adotada para os conjuntos nebulosos.

A diferença entre estes conceitos em relação à variável idade é ilustrada no contexto da Figura 11(a) e da Figura 11(b), que descrevem respectivamente a representação do conceito *adolescente* por meio de um conjunto *crisp* (C) e de um conjunto nebuloso (F). O conjunto *crisp* C não exprime completamente o conceito de *adolescente*, pois uma pessoa com 12 anos e 11 meses seria considerada completamente incompatível com o referido conceito. Na verdade, qualquer intervalo *crisp* que se adote para representar este conceito é arbitrário.

Já o conjunto nebuloso F da Figura 11(b) permite expressar que qualquer pessoa com idade entre 13 e 17 anos é um adolescente, acima de 19 ou então abaixo de 11 não é identificado como um adolescente, e no intervalo $[11, 13]$ (respectivamente para $[17, 19]$) é considerado tanto mais adolescente quanto mais próxima de 13 (respectivamente de 17) anos é sua idade.

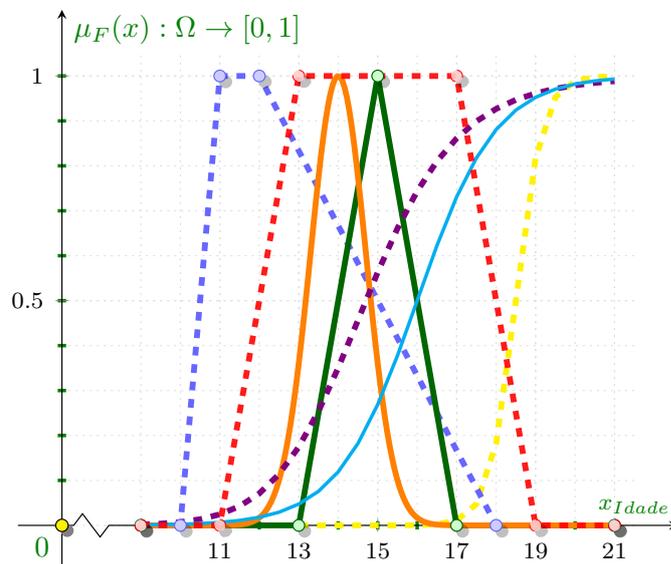
O conceito *adolescente*, regulado pelo conjunto nebuloso F utilizado nesta aproximação (Figura 11(b)), obedece a representação decorrente da evolução de uma simples função trapezoidal característica. Sem contenção explícita, são admitidos outros formatos diversos para os graus de pertinência descritos com tais funções, a exemplo das configurações triangular, senoidal e gaussiana ilustradas na Figura 12, ainda observadas sobre o mesmo universo da variável idade. Como outra particularidade, a distribuição dos conjuntos sobre o universo de discurso pode ser arbitrária e pode ou não ocorrer sobreposição de conjuntos.

Figura 11 – Representação do conceito adolescente por meio dos conjuntos *crisp* e nebuloso



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Formas de representação de um conjunto *fuzzy*



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1 Definições Gerais

A cardinalidade de um conjunto nebuloso F é expressa formalmente como na Equação 4.1 e na Equação 4.2, respeitando-se os respectivos universos:

- Para Ω discreto

$$|F| = \sum_{x \in \Omega} \mu_F(x) \quad (4.1)$$

- Para Ω contínuo

$$|F| = \int_{\Omega} \mu_F(x) \quad (4.2)$$

Pode-se obter a representação aproximada de um conjunto nebuloso F em Ω por meio de conjuntos *crisp* em Ω . Estes subconjuntos, denotados por F_α e denominados de cortes de nível ou cortes- α , são definidos como na [Equação 4.3](#):

$$F_\alpha = \{x \in \Omega \mid \mu_F(x) \geq \alpha\} \quad (4.3)$$

Os casos extremos destes conjuntos, representados na [Figura 13](#), são (i) o suporte de F , retratado como $Su(F)$, que agrupa elementos de Ω que são de alguma forma compatíveis com o conceito expresso por F , e (ii) o núcleo de F , identificado por $Nu(F)$, que agrupa os elementos de Ω completamente compatíveis com o conceito expresso por F , conforme formalizado com a [Equação 4.4](#) e com a [Equação 4.5](#).

$$Su(F) = \{x \in \Omega \mid \mu_F(x) > 0\} = \lim_{\alpha \rightarrow 0} F_\alpha \quad (4.4)$$

$$Nu(F) = \{x \in \Omega \mid \mu_F(x) = 1\} = F_1 \quad (4.5)$$

A altura de F , ou $Al(F)$, representa o maior grau de compatibilidade dos elementos de Ω em relação ao conceito expresso por F ([Equação 4.6](#)):

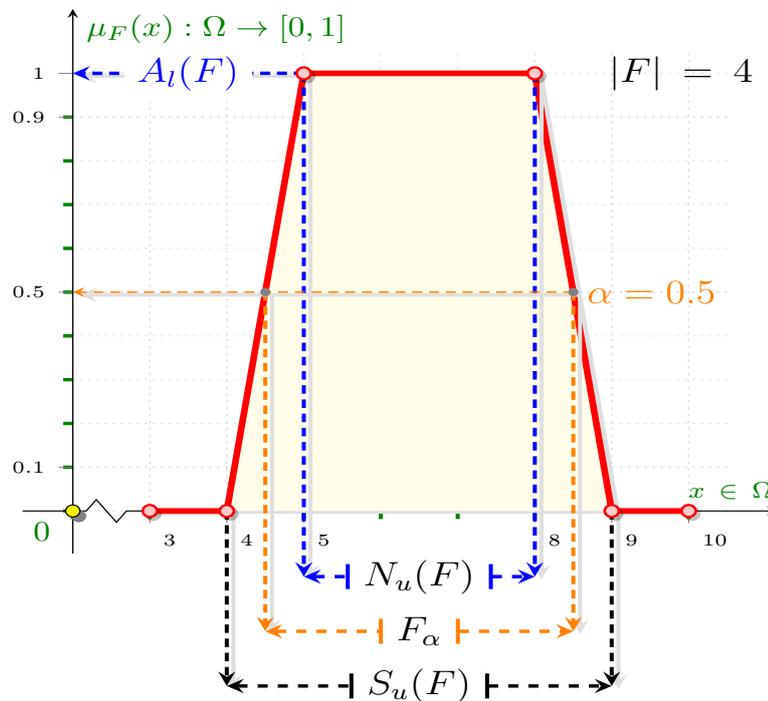
$$Al(F) = \sup_{x \in \Omega} \mu_F(x) \quad (4.6)$$

Um conjunto nebuloso F qualquer é enunciado normalizado se e somente se $Al(F) = 1$, como é possível observar na [Figura 13](#) que ilustra as representações assumidas com as definições elaboradas para a cardinalidade ($|F|$), a altura ($Al(F)$), o suporte ($Su(F)$), o núcleo ($Nu(F)$), e o corte de nível em 0.5 (ou seja, $F_\alpha = 0.5$) de um conjunto nebuloso F .

Formalmente, um conjunto nebuloso F é declarado ser *convexo* em $\Omega \subseteq \mathfrak{R}$ se e somente se, seus cortes- α são convexas, isto é, se:

$$\begin{aligned} \forall x, y \in \Omega, \forall \lambda \in [0, 1], \\ \mu_F(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min(\mu_F(x), \mu_F(y)) \end{aligned} \quad (4.7)$$

Figura 13 – Altura, suporte, núcleo, cardinalidade e corte de nível em 0.5 para o conjunto nebuloso F



Fonte: Adaptada de Sandri e Correa (1999).

Seja F um conjunto nebuloso *convexo*, com $S_u(F) = [s_{\text{inf}}, s_{\text{sup}}]$ e $N_u(F) = [n_{\text{inf}}, n_{\text{sup}}]$. Um intervalo nebuloso é um conjunto nebuloso normalizado e *convexo* em \mathfrak{R} tal que, a função que descreve $\mu_F(x)$ entre s_{inf} e n_{inf} e aquela entre n_{sup} e s_{sup} são estritamente monotônicas (respectivamente crescente e decrescente). Por consequência, o conjunto nebuloso F induzido como exemplo na Figura 13 é um intervalo nebuloso, já que satisfaz essa condição.

4.1.2 Operações em Conjuntos Nebulosos

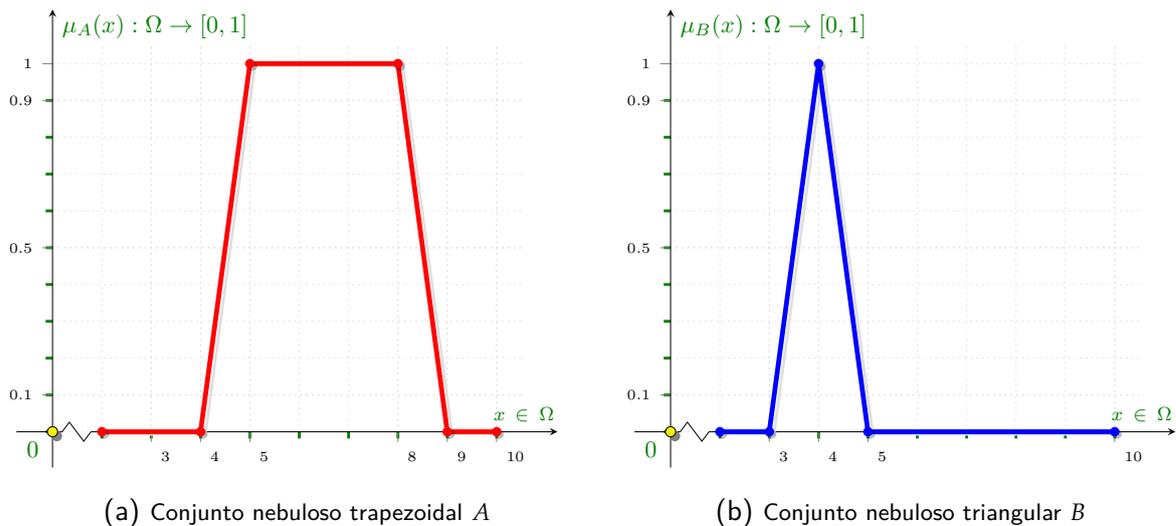
Similarmente às operações realizadas com os conjuntos *crisp*, existe necessidade equivalente de proceder às operações de *intersecção*, *união* e *negação*, entre outras análogas, nos conjuntos nebulosos.

4.1.2.1 Operadores de intersecção, união e complemento

Sejam A e B conjuntos nebulosos definidos em Ω como ilustrado na Figura 14(a) e na Figura 14(b), respectivamente. Pode-se expressar a intersecção destes dois conjuntos por meio de um outro conjunto $E = A \cap B$. Da mesma forma, pode-se expressar a união como um conjunto $F = A \cup B$. Na teoria dos conjuntos nebulosos, a intersecção

é implementada por uma família de operadores denominados de t-normas e a união é implementada por uma família de operadores denominados de t-conormas ou também tratados como S-normas (DUBOIS; PRADE, 1988). Além disso, o principal operador de negação é expresso como $\neg A = 1 - A$, $\forall A \in [0, 1]^1$, mas outros operadores podem ser encontrados na literatura (KLIR; FOLGER, 1988).

Figura 14 – Conjuntos nebulosos A e B , elaborados para exemplo



Fonte: Elaborada pelo autor.

É importante perceber que as t-normas e t-conormas se reduzem aos operadores clássicos de união e intersecção quando os conjuntos são *crisp*. Na Tabela 3 estão formalizadas as t-normas e t-conormas mais usuais, seguida pela Figura 15 que reserva atenção à aplicação dos operadores de Zadeh aos conjuntos nebulosos A e B . Para completar, a Figura 16(a) e a Figura 16(b) ilustram, comparativamente, os perfis dos conjuntos que resultam dessas t-normas e t-conormas praticadas sobre dois conjuntos nebulosos triangulares quaisquer.

A maior (respectivamente a menor) t-norma é o min (respectivamente a t-norma de Weber). A maior (respectivamente a menor) t-conorma é a t-conorma de Weber (respectivamente o max). Os operadores trivialmente mais utilizados são os operadores apresentados por Zadeh, acompanhados dos probabilistas com frequência similar, normalmente empregados para intensificar as respostas *fuzzy*.

4.1.2.2 Operadores de Implicação

Os operadores de implicação $I : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ são utilizados para modelar regras de inferência expressas na forma Se $\langle \text{premissa} \rangle$ Então $\langle \text{conclusão} \rangle$. Assim, conside-

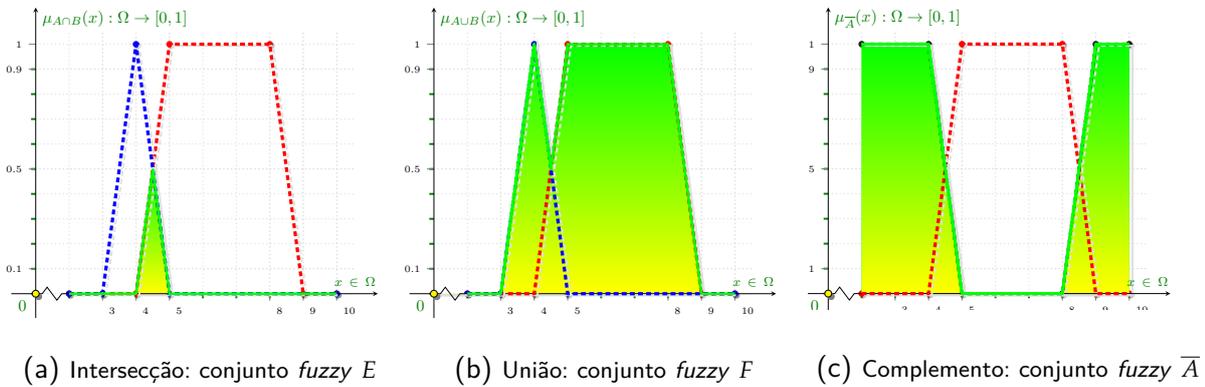
¹ Igualmente escrito na forma \overline{A} , para identificar a negação como complemento.

Tabela 3 – Principais t-normas e t-conormas duais

t-norma	t-conorma	nome
$\min(A, B)$	$\max(A, B)$	Zadeh
$A \cdot B$	$A + B - AB$	probabilista
$\max(A + B - 1, 0)$	$\min(A + B, 1)$	Lukasiewicz
$\begin{cases} A, & \text{se } B = 1 \\ B, & \text{se } A = 1 \\ 0, & \text{senão} \end{cases}$	$\begin{cases} A, & \text{se } B = 0 \\ B, & \text{se } A = 0 \\ 1, & \text{senão} \end{cases}$	Weber

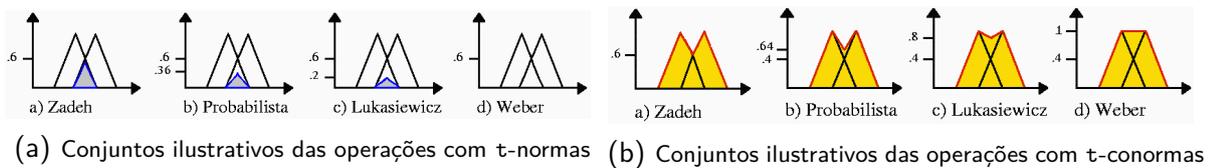
Fonte: Dubois e Prade (1988).

Figura 15 – Operações em conjuntos fuzzy conforme Zadeh



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 – Perfis de resposta das principais t-normas e t-conormas duais



Fonte: Sandri e Correa (1999).

Quando os conjuntos A e B descritos como $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ e $\mu_B : Y \rightarrow [0, 1]$, a relação $A \rightarrow B$ é formalizada como a Equação 4.8:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = I(\mu_A(x), \mu_B(y)) \tag{4.8}$$

De modo conciso, existem três grandes classes de implicações propriamente ditas: (i) as implicações S , que são da forma $I_S(a, b) = \perp(\neg a, b)$; (ii) as implicações R , que são tais que $I_R(a, b) = \sup \{c \in [0, 1] \mid \top(a, c) \leq b\}$; e (iii) as implicações QM , que são

escritas como $I_{QM}(a,b) = \perp(\neg a, \top(a,b))$, onde \top é uma t-norma, \perp é uma t-conorma e \neg representa uma negação.

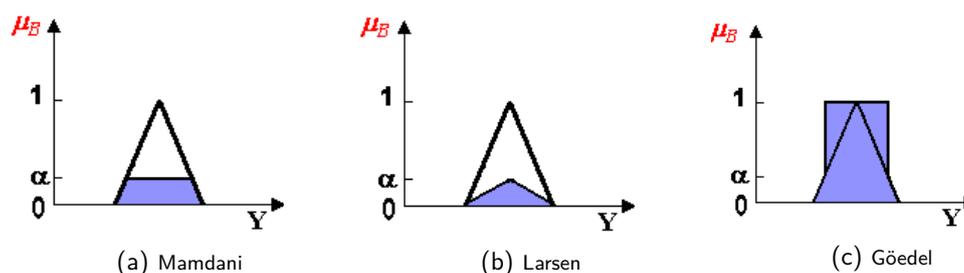
As t-normas não são implicações propriamente ditas, mas são frequentemente adotadas na prática como implicações, particularmente em aplicações que se favorecem dos sistemas de controle nebuloso. Nesse contexto, [Gomide, Gudwin e Tanscheit \(1995\)](#) oferecem uma abordagem mais abrangente e detalhada, direcionando essa discussão. Simplificadamente então, a [Tabela 4](#) sintetiza uma amostra dos principais operadores de implicação e a [Figura 17](#) tem a pretensão de ilustrar a aplicação de alguns dos operadores mais usuais sobre o corte de nível (α) e um conjunto nebuloso triangular B qualquer.

Tabela 4 – Síntese dos principais operadores de implicação

Implicação	nome
$\max(1 - a, b)$	Kleene-Dienes
$\min(1 - a + b, 1)$	Lukasiewicz
$\begin{cases} 1, & \text{se } a \leq b \\ 0, & \text{senão} \end{cases}$	Rescher-Gaines <i>Sharp</i>
$\begin{cases} 1, & \text{se } a \leq b \\ b, & \text{senão} \end{cases}$	Brower-Gödel
$\begin{cases} \min(b/a), & \text{se } a \neq b \\ 1, & \text{senão} \end{cases}$	Goguen
$1 - a + ab$	Reichenbach <i>Estocástica</i>
$\max(1 - a, \min(a, b))$	Zadeh–Wilmott
$\min(a, b)$	Mamdani
$a \cdot b$	Larsen

Fonte: [Dubois e Prade \(1988\)](#).

Figura 17 – Operadores de implicação mais usuais, com $I(\alpha, \mu_B(y))$



Fonte: [Sandri e Correa \(1999\)](#).

Na Seção 4.2, a aproximação ao sistema de lógica *fuzzy* se sucede no contexto da estratégia eFIRST como uma proposta de solução para a disseminação de alertas e controles em situações de congestionamento no ambiente rodoviário, assim como também em traçado urbano. A atenuação dos inconvenientes oriundos destes incidentes em situação de densidade veicular local desfavorável e a orientação do fluxo de tráfego, por meio de um procedimento colaborativo de transferência de informações entre veículos da vizinhança, cooperam para justificar a elaboração desta estratégia com a pretensão de conferir autonomia ancorada em uma técnica de inteligência computacional (CI) (BINGLEI; ZHENG; HONGWEI, 2008; BAUZA; GOZALVEZ; SANCHEZ-SORIANO, 2010; ARAUJO *et al.*, 2014; MENEGUETTE *et al.*, 2016).

4.2 Sistemas Nebulosos

Mesmo que sem exaurir a discussão e os conceitos, os trabalhos elaborados por Zadeh (1965), Dubois e Prade (1980), Mendel (1995), Bittencourt (2006), Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995), Negnevitsky (2011), entre outros, trazem as definições fundamentais da teoria dos conjuntos nebulosos. Também, de forma similar às operações realizadas nos conjuntos *crisp*, são abordados conceitos como o *complemento* (*negação*), a *intersecção*, a *união* e, a *implicação* nesta teoria, além de algumas das propriedades associadas a estas operações.

No contexto de VANET, em função da elevada dinâmica que é inerente, existe uma grande incerteza associada ao tráfego. Entre outros aspectos, essas redes estão sujeitas a sobrecargas inesperadas em alguns momentos e desconexões em outros. Em consequência, desafiam a modelagem analítica precisa. Portanto, sistemas *fuzzy* se apresentam como uma abordagem conveniente para tratar questões relacionadas com a identificação da magnitude do congestionamento veicular e o ajuste da potência do sinal de transmissão, por exemplo.

A estrutura de agregação das componentes de um sistema *fuzzy* e suas relações com o fluxo de informação da alimentação até a saída, como na exposição amparada pela Figura 18, oferece uma referência para ancorar a argumentação apresentada no decorrer desta subseção. Em fragmentos, o sistema recebe a formalização dos procedimentos, assistidos dos respectivos exemplos, o que permite acompanhar o tratamento praticado sobre entradas *crisp* mapeadas em conjuntos *fuzzy* no correspondente universo de discurso. Encadeada neste contexto, a base de regras incita a convergência do sistema em uma inferência ainda *fuzzy* e então ao final, a tarefa se resume no procedimento para recuperar uma resposta *crisp*.

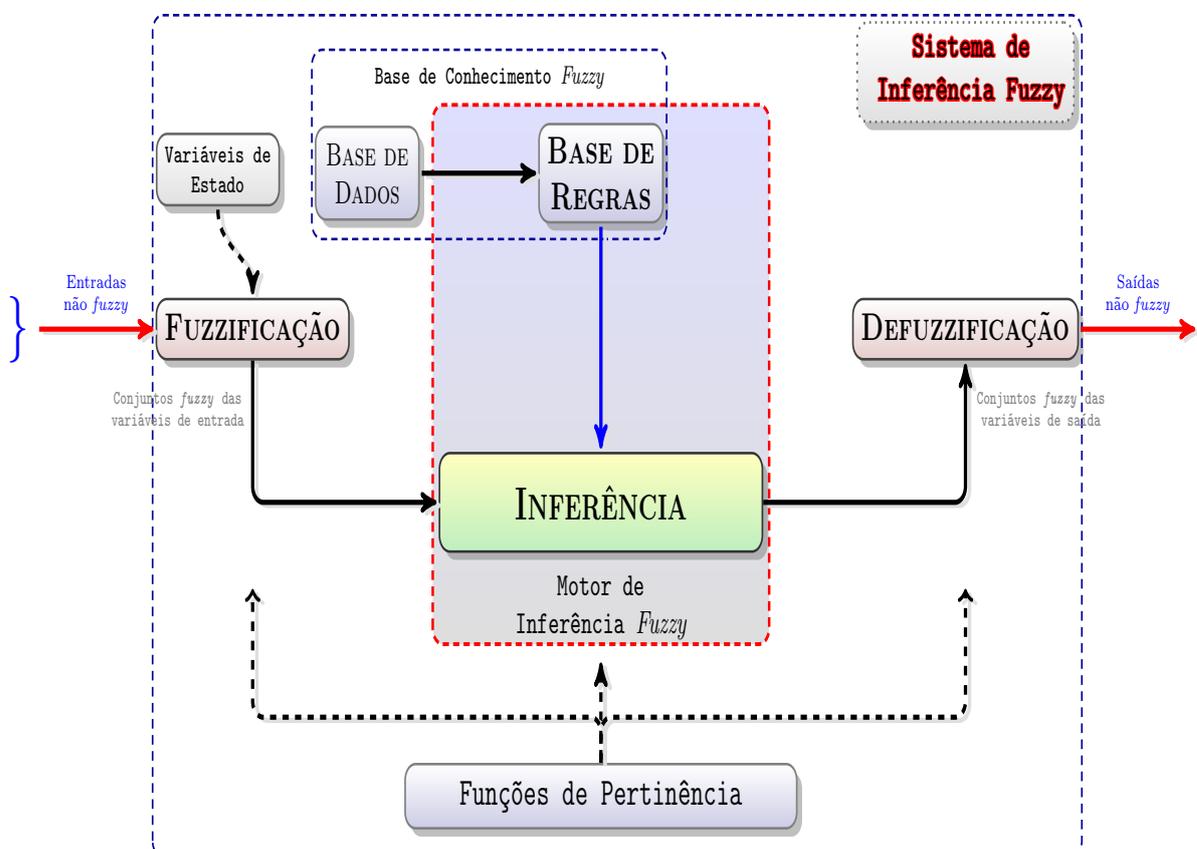
Divergente aos sistemas convencionais com paradigmas representados por equações algébricas ou diferenciais, aproveitando um modelo matemático, um sistema *fuzzy*

se utiliza de regras lógicas, a exemplo das associações entre as variáveis na [Tabela 5](#). Essas regras agregadas formam uma base, com a intenção de descrever dentro de uma rotina a experiência humana, intuição e heurística para realizar o mesmo processo ([ZADEH, 1965](#)).

Desta orientação segue que, uma *variável linguística* ([ZADEH, 1965](#); [DUBOIS; PRADE, 1980](#)) pode ser estreitamente definida por uma quintupla escrita como $(X, T(X), \Omega, G, M)$, onde:

- X é o nome da variável linguística;
- $T(X)$ é um conjunto de nomes para valores linguísticos de X , ou seja, o conjunto de termos que a variável X pode assumir;
- Ω é o universo de discurso da variável linguística X ;
- G representa a gramática de regras sintáticas, para gerar os valores de X como uma composição de termos $T(X)$, conectivos lógicos, modificadores e delimitadores, e

Figura 18 – Componentes de um sistema *fuzzy* e suas respectivas associações

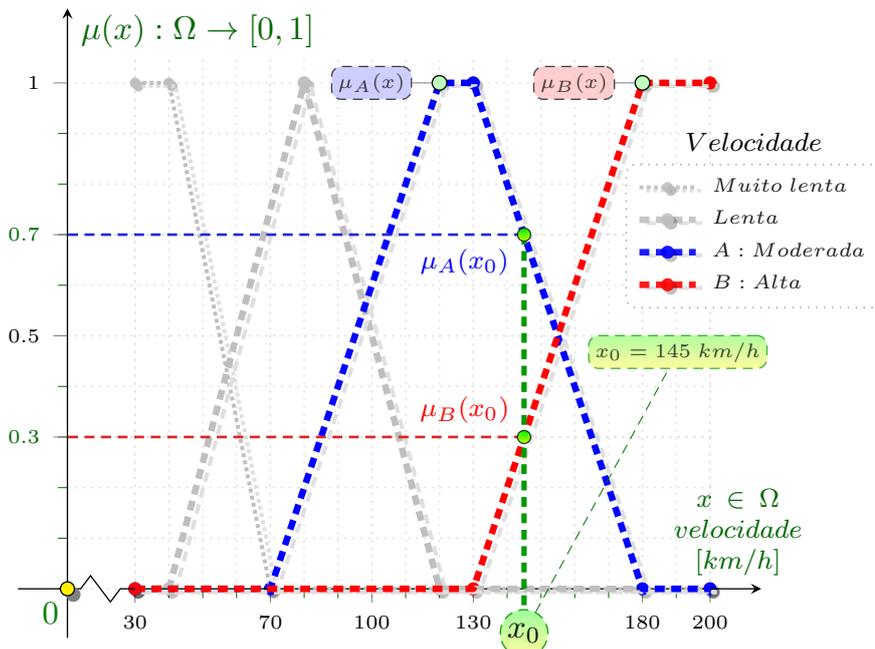


Fonte: Adaptada de [Sandri e Correa \(1999\)](#), [Bauer, Nouak e Winkler \(2018\)](#).

- M a regra semântica, uma função que associa uma relação de pertinência a cada elemento de $T(X)$ por meio de um conjunto *fuzzy* em Ω , representando o seu significado.

Na abscissa, a **Figura 19** assimila a *variável linguística* X : *velocidade*, descrita com a assistência do conjunto de termos nebulosos $T(X)$: $\{\text{Muito lenta}, \text{Lenta}, \text{Moderada}, \text{Alta}\}$. Também na **Figura 19**, o grau com que um valor *crisp* x_0 em Ω : 0 a 200 *km/h* satisfaz o termo linguístico A : *Moderada* reflete a pertinência de x_0 em A , expressa na forma $\mu_A(x_0)$: $[0, 1]$. Então, com o valor de entrada $x_0 = 145$ *km/h* por exemplo, a observação da respectiva projeção sobre o termo *Moderada* permite identificar o grau de pertinência em A dado como $\mu_A(x_0) = 0.7$ e, de forma análoga $\mu_B(x_0) = 0.3$, respectivamente para o termo B : *Alta*.

Figura 19 – A variável *velocidade* descrita por meio de um conjunto de *termos linguísticos* e os graus de pertinência para x_0



De forma menos restrita, paradigmas nebulosos encontram maior adequação aos sistemas não-lineares. Nestes, são capazes de superar perturbações e ruídos. Além disso, mesmo para os sistemas em que a incerteza se faz presente de maneira intrínseca, agregam uma robustez característica à reação de resposta. No entanto, provar determinadas propriedades de robustez é uma tarefa de complexidade desafiadora neste tipo de abordagem.

4.2.1 Interface de Fuzzificação

A *interface de fuzzificação* identifica os valores das variáveis de entrada que caracterizam o estado do sistema (variáveis de estado), e os normaliza em um universo de discurso padronizado. Estes valores instantâneos são então *fuzzificados*, com a transformação da entrada *crisp* em conjuntos nebulosos, para que possam se tornar instâncias de *variáveis linguísticas*.

4.2.2 Base de Conhecimento

A *base de conhecimento* consiste de uma base de dados e uma base de regras, como na representação matricial sintetizada² da [Tabela 5](#), de forma a caracterizar a estratégia de resposta e os comportamentos perseguidos para cada situação mapeada no problema atacado, a exemplo da identificação das condições do congestionamento veicular. Para corroborar, na [Figura 20](#) com razoável equivalência, os conjuntos nebulosos esboçados correspondem aos respectivos termos que descrevem as referidas variáveis desse mesmo sistema.

Tabela 5 – Variáveis descritas por meio do mapeamento com termos linguísticos, formando o conjunto de regras lógicas simplificado que caracteriza o *congestionamento* local

Nível de congestionamento		Densidade de tráfego [<i>veículos/km/faixa</i>]			
		Baixa (B)	Média (M)	Alta (A)	Muito alta (Ma)
Velocidade [<i>km/h</i>]	Muito lenta (Ml)	fraco	moderado	moderado	severo
	Lenta (L)	livre	fraco	moderado	moderado
	Moderada (M)	livre	fraco	fraco	moderado
	Alta (A)	livre	livre	livre	fraco

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na *base de dados* ficam armazenadas as definições sobre a discretização e normalização dos universos de discurso e as definições das funções de pertinência dos termos nebulosos. A *base de regras* é formada por um conjunto de estruturas descritivas que são elaboradas na forma *Se <premissa> Então <conclusão>*, como no exemplo do [Algoritmo 1](#).

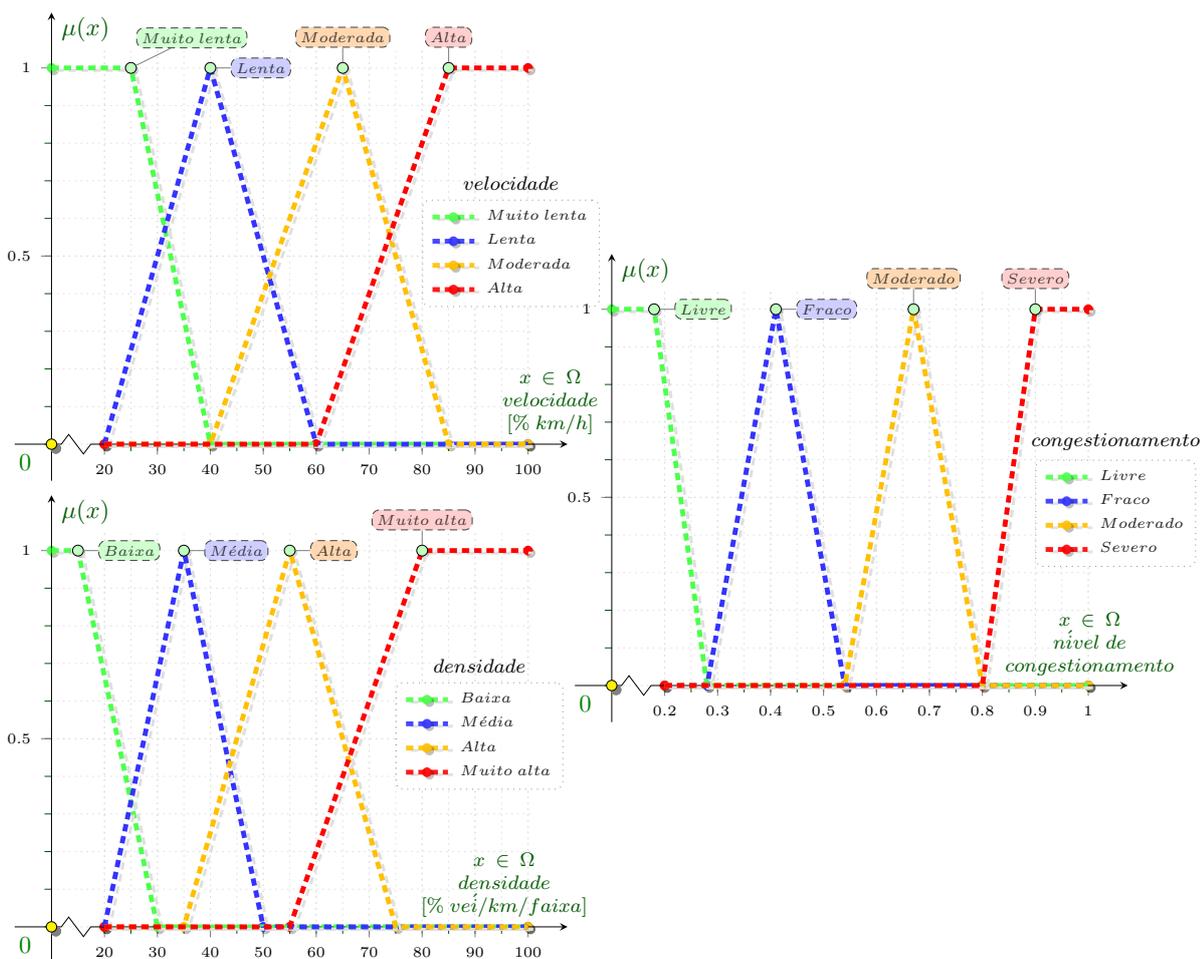
² O conjunto de termos linguísticos utilizado com o eFIRST é mais singularizado, porém mais amplo, então confere maior fragmentação nos mapeamentos das variáveis.

Algoritmo 1 – Estrutura de construção de uma regra

Se <Velocidade é Lenta> E <Densidade é Alta>
Então <Congestionamento é moderado>

Estas regras, juntamente com as informações de entrada, são processadas com o auxílio de um *procedimento de inferência*. Em consequência, o mesmo infere as ações de resposta de acordo com o estado do sistema. O mapeamento pleno das combinações dos termos das variáveis garante que exista sempre ao menos uma regra a ser disparada para qualquer valor na entrada. Com mesmo mérito, a consistência é essencial para evitar contradições e a interação entre as regras, gerenciada pela função de implicação, de modo a contornar as situações indesejadas de ciclo.

Figura 20 – Variáveis *velocidade*, *densidade* e *congestionamento* mapeados com conjuntos restritos de termos nebulosos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta base, as premissas das regras são relacionadas pelos conectivos lógicos,

dados pelo *operador de conjunção* (\wedge) calculado como o *mínimo* (*min*) para a intersecção e o *operador de disjunção* (\vee), calculado como o *máximo* (*max*) para a união de dois conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1999; MAMDANI, 1977). Em geral as regras têm a forma de um sistema de múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO), mas que permite ser transformado em diversos sistemas com múltiplas entradas e uma saída (MISO). Como por exemplo, a composição da regra MIMO abordada no Algoritmo 2:

Algoritmo 2 - Estrutura da regra MIMO

Se $\langle x_1 \text{ é } A_1 \rangle$ E ... E $\langle x_n \text{ é } A_n \rangle$
Então $\langle y_1 \text{ é } C_1 \rangle$ E ... E $\langle y_m \text{ é } C_m \rangle$

é equivalente a m regras MISO caracterizadas por um conseqüente desmembrado, escritas na forma apresentada com o Algoritmo 3.

Algoritmo 3 - Estrutura da regra MISO

Se $\langle x_1 \text{ é } A_1 \rangle$ E ... E $\langle x_n \text{ é } A_n \rangle$ Então $\langle y_j \text{ é } C_j \rangle$

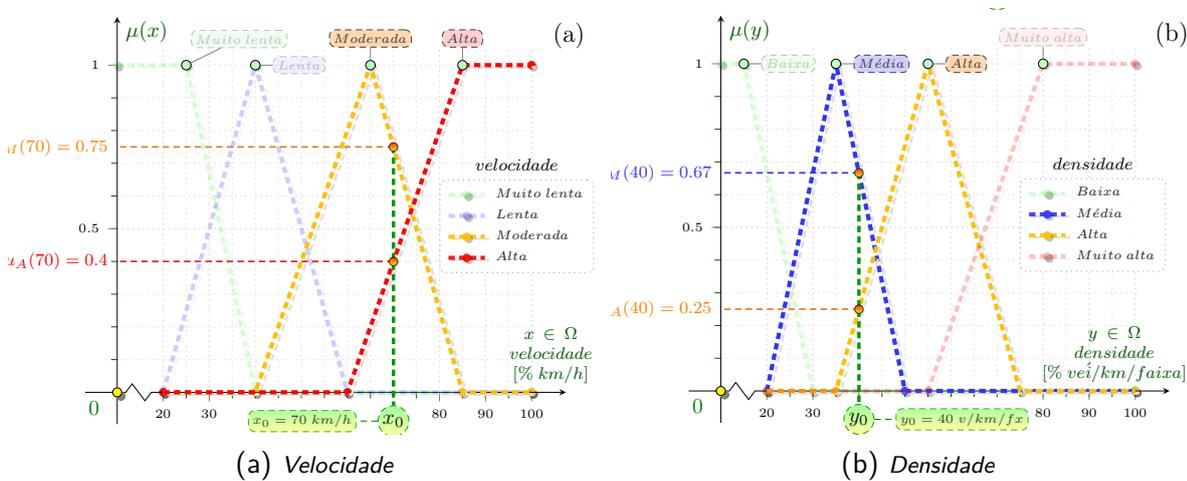
4.2.3 Procedimento de Inferência

Um sistema *fuzzy* pode ser considerado um sistema especialista simplificado, onde a conseqüência de uma regra não é aplicada como antecedente de outra (DRIANKOV; HELLENDORRN; REINFRANK, 1993; NEGNEVITSKY, 2011). Assim, sucintamente e declinando os detalhes da formalização, o processo de inferência conduzido por um sistema *fuzzy* consiste nos seguintes procedimentos:

1. verificar o grau de compatibilidade entre os fatos e as cláusulas nas premissas das regras;
2. determinar o grau de compatibilidade global das premissas de cada regra;
3. determinar o valor da conclusão, em função do grau de compatibilidade da regra com os dados e a ação de resposta instigada na conclusão e;
4. agregar os valores obtidos como conclusão nas várias regras acionadas, o que representa a resposta instantânea final.

Por decorrência, para o instante em que o sistema *fuzzy* avalia a informação de *velocidade* identificada na Figura 21(a) por meio da referência $x_0 = 70 \text{ km/h}$ e de forma concomitante, para a *densidade* veicular local registrada como $y_0 = 40 \text{ v/km/fx}$ considerada na Figura 21(b), a apuração inicial guiada pela Tabela 5, em conformidade com a aderência dessas variáveis aos termos nebulosos que as descrevem, permite segregar o conjunto das quatro regras ativadas nessa oportunidade. Esta formação é tal como na relação de regras destacadas com o conjunto das quatro células de referência evidenciadas na Tabela 6 e reiteradamente, retratadas por meio da forma genérica em linguagem simbólica do Algoritmo 4.

Figura 21 – Inferência no sistema *fuzzy* para velocidade 70 km/h e densidade 40 v/km/fx



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Regras de inferência de congestionamento ativadas com a leitura de velocidade 70 km/h e densidade 40 v/km/fx

Nível de congestionamento		Densidade de tráfego [veículos/m/faixa]			
		Baixa (B)	Média (M)	Alta (A)	Muito alta (Ma)
Velocidade [km/h]	Muito lenta (Ml)	fraco	moderado	moderado	severo
	Lenta (L)	livre	fraco	moderado	moderado
	Moderada (M)	livre	fraco	fraco	moderado
	Alta (A)	livre	livre	livre	fraco

Fonte: Elaborada pelo autor.

Algoritmo 4 - Regras ativadas com $x_0 = 70$ e $y_0 = 40$

Se <Velocidade é Moderada> E <Densidade é Média>
Então <Congestionamento é fraco> Ou

Se <Velocidade é Moderada> E <Densidade é Alta>
Então <Congestionamento é fraco> Ou

Se <Velocidade é Alta> E <Densidade é Média>
Então <Congestionamento é livre> Ou

Se <Velocidade é Alta> E <Densidade é Alta>
Então <Congestionamento é livre>

Com o *congestionamento* sustentado como variável z na construção do conseqüente nas expressões do **Algoritmo 4** e, tomando o cuidado para provisionar a relação de união entre cada regra, por meio do conectivo *OU* resolvido pela aplicação do operador *max* na proposta de **Zadeh**, observam-se substituídas as respectivas funções de pertinência que avaliam a relação de implicação nas declarações condicionais, conforme segue a construção manifestada no **Algoritmo 5**.

Algoritmo 5 - Funções de pertinência na implicação

Se $\langle \mu_M(x_0) \rangle$ E $\langle \mu_M(y_0) \rangle$ Então $\langle \mu_f(z) \rangle$ Ou

Se $\langle \mu_M(x_0) \rangle$ E $\langle \mu_A(y_0) \rangle$ Então $\langle \mu_f(z) \rangle$ Ou

Se $\langle \mu_A(x_0) \rangle$ E $\langle \mu_M(y_0) \rangle$ Então $\langle \mu_l(z) \rangle$ Ou

Se $\langle \mu_A(x_0) \rangle$ E $\langle \mu_A(y_0) \rangle$ Então $\langle \mu_l(z) \rangle$

Na tarefa de obter a função de pertinência do conjunto *fuzzy* $\mu_{n^*}(z)$ ³, determinado dinamicamente para cada uma das regras ativadas, a expressão conecta os dois antecedentes nas premissas do **Algoritmo 5** fazendo uso do conectivo *E*, que para **Zadeh** se traduz no operador *min* e é então representado como \wedge . Portanto, pela identificação das respectivas funções de pertinência sobre os termos operados decorre o **Algoritmo 6**.

Algoritmo 6 - Função de pertinência no conseqüente das regras

$$\mu_{n^*}(z) = \left(\mu_{T(x)}(70) \wedge \mu_{T(y)}(40) \right) \wedge \mu_n(z)$$

³ Ao conjunto n^* não corresponde um rótulo em *termo linguístico* definido com antecedência.

$$\vdots$$

$$\mu_{f*}(z) = (\mu_M(70) \wedge \mu_M(40)) \wedge \mu_f(z) \vee$$

$$\mu_{f*}(z) = (\mu_M(70) \wedge \mu_A(40)) \wedge \mu_f(z) \vee$$

$$\mu_{l*}(z) = (\mu_A(70) \wedge \mu_M(40)) \wedge \mu_l(z) \vee$$

$$\mu_{l*}(z) = (\mu_A(70) \wedge \mu_A(40)) \wedge \mu_l(z)$$

A evolução de mais outra substituição conduzida analogamente, neste caso com os valores identificados na [Figura 21\(a\)](#) e na [Figura 21\(b\)](#) aplicados ao [Algoritmo 6](#), por meio da propagação dos graus de pertinência das variáveis nos respectivos termos que as descrevem em cada regra. Procedimento que proporciona as atualizações disponibilizadas com as simplificações das linhas no [Algoritmo 7](#) e na oportuna interpretação complementar sustentada com os subsídios da [Figura 22](#), [Figura 23](#), [Figura 24](#) e [Figura 25](#), respectivas a ordem das regras.

Algoritmo 7 - Pertinências nos consequentes

$$1: \quad \mu_{f*}(z) = (0.75 \wedge 0.67) \wedge \mu_f(z) = 0.67 \wedge \mu_f(z) \vee$$

2:

$$3: \quad \mu_{f*}(z) = (0.75 \wedge 0.25) \wedge \mu_f(z) = 0.25 \wedge \mu_f(z) \vee$$

4:

$$5: \quad \mu_{l*}(z) = (0.40 \wedge 0.67) \wedge \mu_l(z) = 0.40 \wedge \mu_l(z) \vee$$

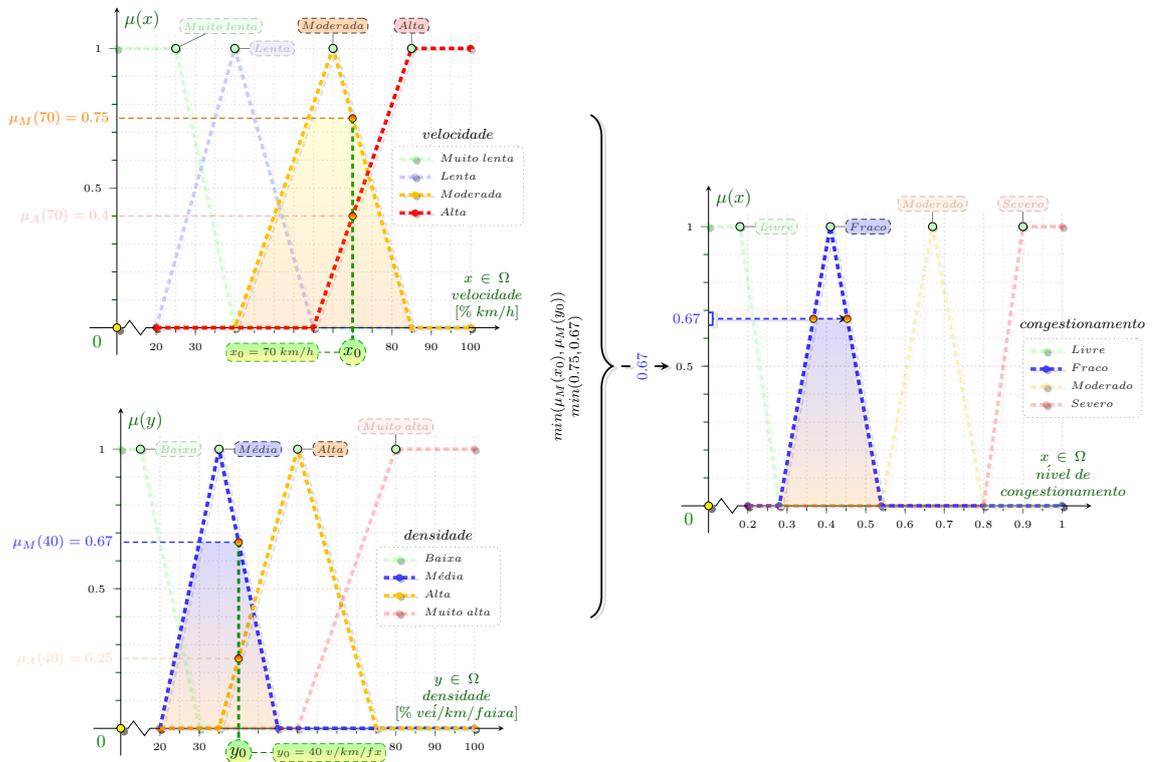
6:

$$7: \quad \mu_{l*}(z) = (0.40 \wedge 0.25) \wedge \mu_l(z) = 0.25 \wedge \mu_l(z)$$

A formalização analítica, registrada com o [Algoritmo 7](#), acomoda o benefício das projeções elaboradas sobre as formas gráficas dos termos *fuzzy* nas regras processadas. A abordagem promovida com a [Figura 22](#) para a linha 1, com a [Figura 23](#) para a linha 3, com a [Figura 24](#) para a linha 5 e, com a [Figura 25](#) para a para a linha 7 do [Algoritmo 7](#), permite a associação dos graus de pertinência nas premissas das regras refletidas no correspondente consequente, em configuração que consolida o esclarecimento da resposta *fuzzy* para a abstração matemática do procedimento de inferência.

Na condução de finalização, se reserva atenção para proceder a união das respostas *fuzzy*, inferidas com as regras do [Algoritmo 7](#), por intermédio da aplicação do operador *max*. A compatibilidade da respectiva função *fuzzy* no consequente das expressões, conforme os detalhes da [Figura 26](#), reflete a contribuição de cada resposta ativada na composição do conjunto *fuzzy* de saída, situação que o [Algoritmo 8](#) formaliza para o instante de *velocidade* e *densidade* contextualizados.

Figura 22 – Resposta fuzzy para a regra 1 do Algoritmo 7



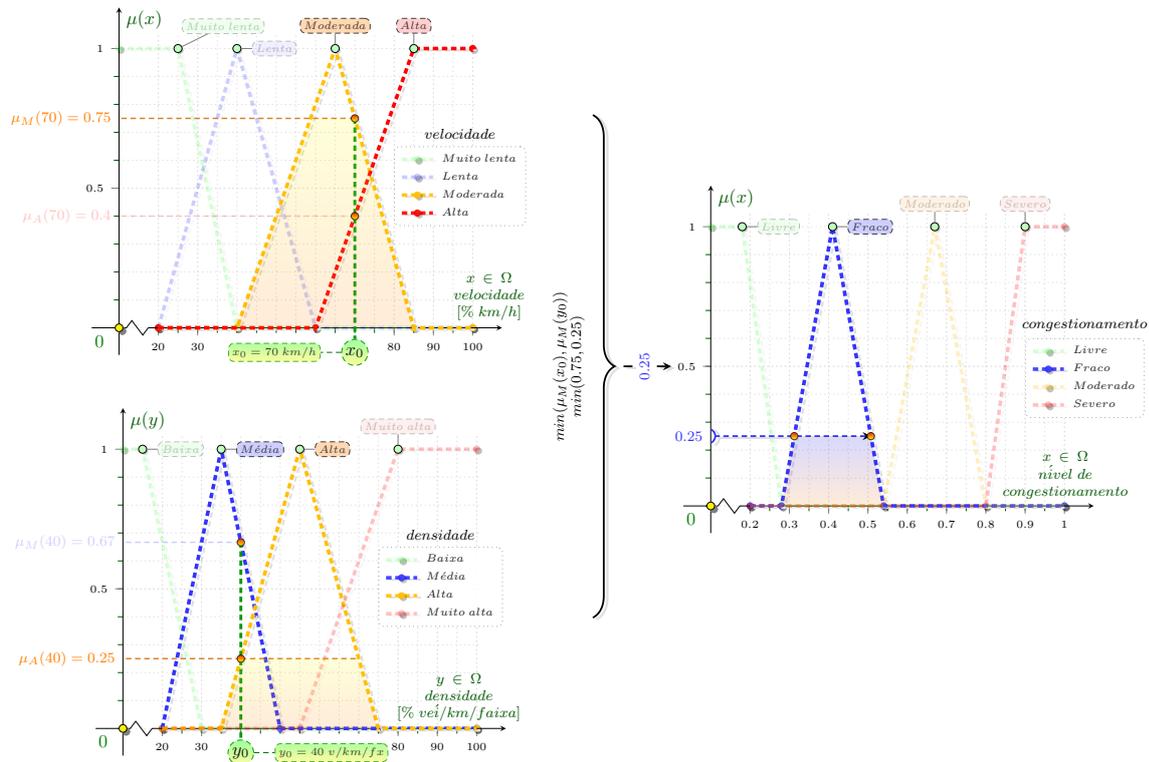
Fonte: Elaborada pelo autor.

Algoritmo 8 - Aplicação do operador $\max (\vee)$

$$\mu_{f^*}(z) = 0.67 \wedge \mu_f(z) \vee$$

$$\mu_{l^*}(z) = 0.40 \wedge \mu_l(z)$$

Essa combinação simplificada de expressões do Algoritmo 8 torna consistente a definição para o contorno do conjunto fuzzy de resposta (Figura 26c), na situação de excitação considerada, ao agregar os valores de aderência aplicados sobre os conjuntos identificados como conclusão nas respectivas regras operadas. Já a Figura 27 individualiza o conjunto fuzzy de interesse, sumarizado no Algoritmo 8, como resultado da operação \max sobre os consequentes. Neste momento, a Figura 27, que o motor de inferência caracteriza como uma resposta fuzzy, se posiciona em condição de insumo para alimentar mais uma última componente do sistema, seguindo com a abordagem da Subseção 4.2.4.

Figura 23 – Resposta *fuzzy* para a regra 3 do Algoritmo 7

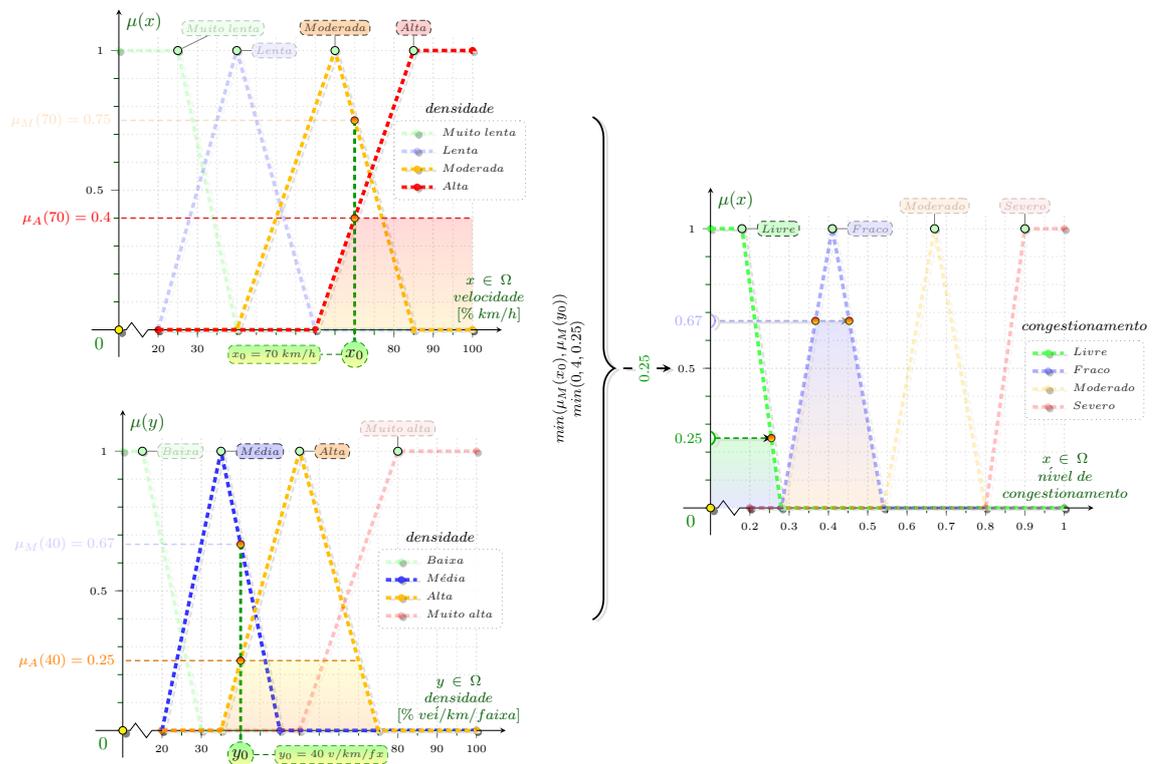
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.4 Interface de Defuzzificação

A interface de *defuzzificação* é utilizada para obter uma única resposta precisa, a partir do conjunto nebuloso de suporte ($Su(Z)$) que resulta do *processo de inferência* descrito na Subseção 4.2.3. A operação compreende a identificação do domínio das variáveis de saída em um correspondente universo de discurso e com a resposta *fuzzy* inferida, como a da Figura 27, evolui-se uma resposta não *fuzzy*.

A seleção do método de *defuzzificação* está relacionada diretamente com as características do sistema e o respectivo comportamento de resposta necessários. O método do último máximo ou a média dos máximos, por exemplo, se assemelha ao efeito de um chaveador *on-off*. Como alteram abruptamente entre dois estados, podem conduzir a respostas inadequadas para o modo de operação do sistema. A literatura (DUBOIS; PRADE, 1980; MENDEL, 1995; NEGNEVITSKY, 2011) proporciona diversas outras soluções para *defuzzificação* do conjunto *fuzzy* $Su(Z)$ de saída. Entre estas soluções, e também utilizado nesta avaliação, está o método do centro de gravidade (CoG), que determina o valor *crisp* (não *fuzzy*) na saída do sistema como o CoG da função de distribuição de possibilidades da variável de resposta. O referido valor corresponde à média das áreas de todos os conjuntos $Su(Z)_i$ que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* de resposta, em alusão ao representado com a Figura 28, de

Figura 24 – Resposta fuzzy para a regra 5 do Algoritmo 7



Fonte: Elaborada pelo autor.

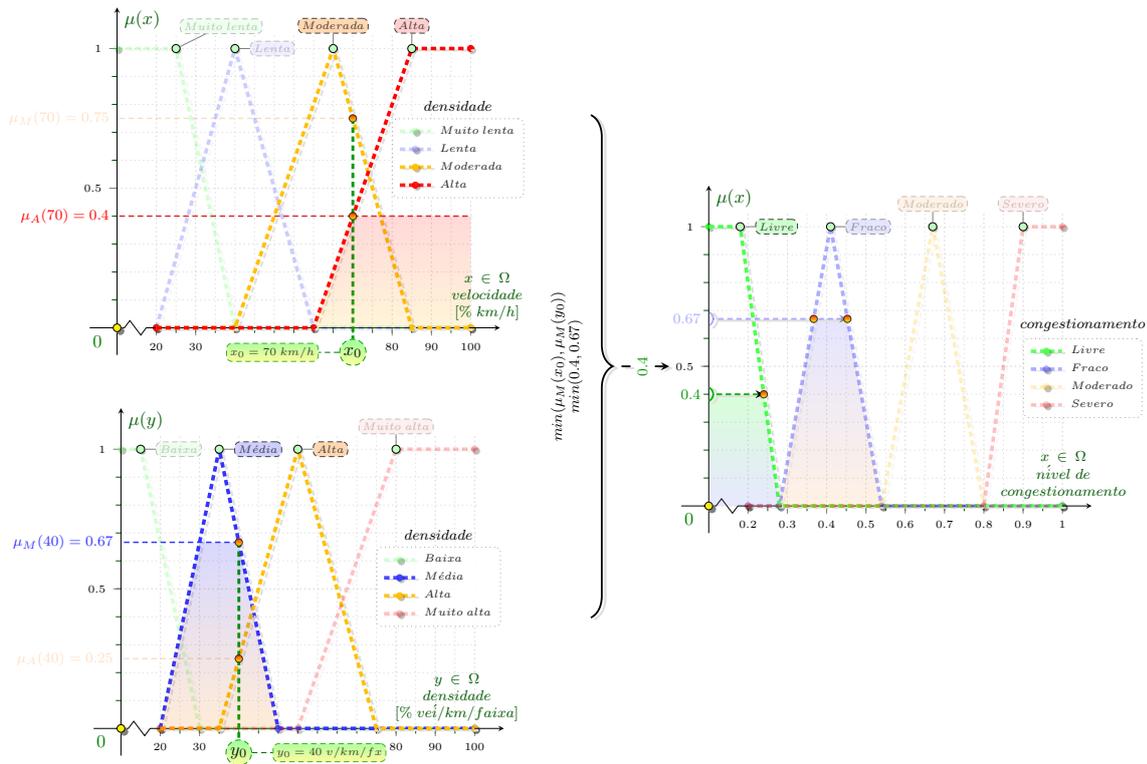
forma a satisfazer as implicações sintetizadas no Algoritmo 8 (Subseção 4.2.3).

Com o CoG resolvido por meio do *Centro da Área* (CoA) para oferecer a média aritmética entre os centros de gravidade das áreas das representações dos graus de pertinência de cada subconjunto *fuzzy*, o valor z_c *crisp* é inferido como o centróide do conjunto *fuzzy* $Su(Z)$ composto pela união de todas as contribuições dos consequentes das regras ativadas, em evidência na Figura 28. Este fato permite concluir esta saída como o valor no universo que divide a área sob a curva da função de pertinência em duas partes iguais. O endereçamento fracionado desta tarefa é auferido com a execução dos procedimentos suficientes para:

- determinar a abscissa na coordenada do centróide para cada consequente ativado na inferência;
- calcular a área estabelecida entre o grau de pertinência e a abscissa para cada consequente ativado e, então;
- calcular a média ponderada dos centróides com relação às respectivas áreas.

Na Equação 4.9, que formaliza o cálculo do centróide por meio do CoA para o domínio discreto, o valor numérico z_c expressa o CoG da distribuição de possibilidades

Figura 25 – Resposta *fuzzy* para a regra 7 do Algoritmo 7



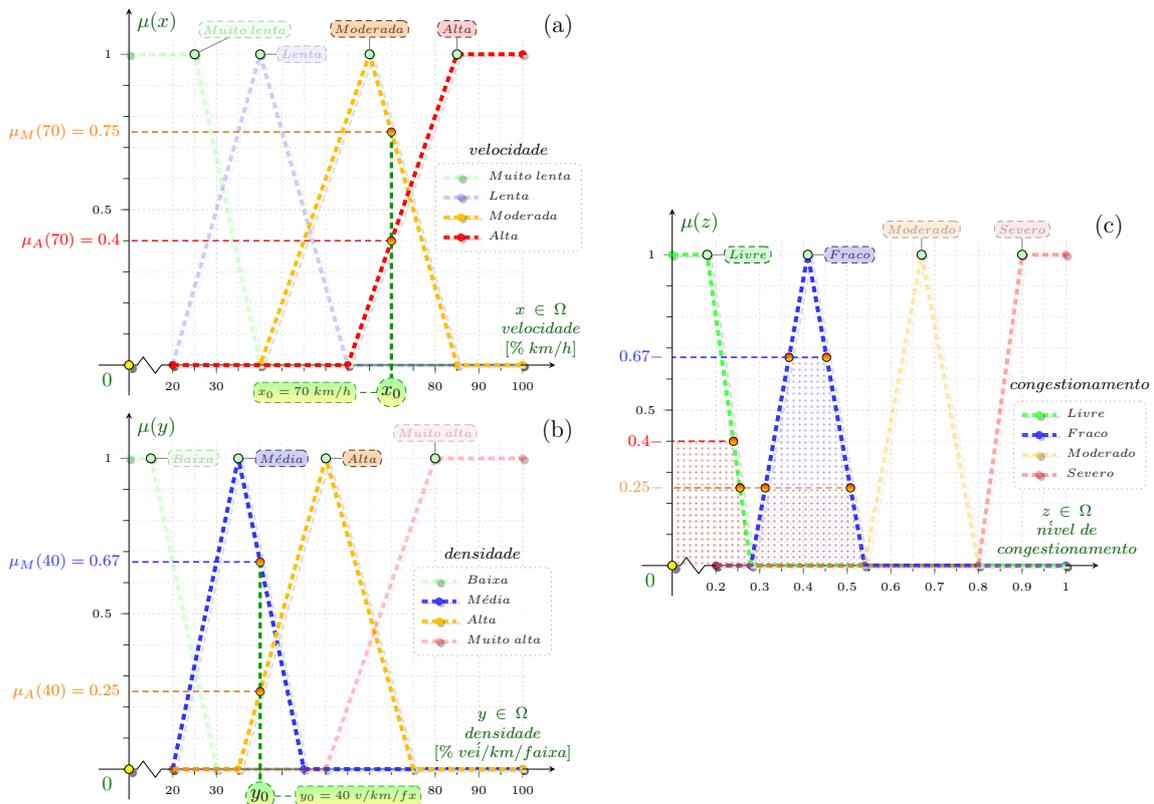
Fonte: Elaborada pelo autor.

da saída proporcionada pelo motor de inferência *fuzzy*:

$$z_c = \frac{\sum_{i=1}^N z_i \cdot \mu_{Su(Z)}(z_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_{Su(Z)}(z_i)} \tag{4.9}$$

onde a componente $\mu_{Su(Z)}(z_i)$ retrata a área de uma função de pertinência, como por exemplo para o termo *livre* ou o termo *fraco* na Figura 27, modificada pelo respectivo resultado da inferência *fuzzy*, ou seja, o grau de pertinência associado ao i – ésimo conjunto *fuzzy* (por consequência, 0.4 para *livre* e 0.67 para *fraco*, como provido na Figura 27 e na Figura 28) e z_i reflete a posição do centróide da função de pertinência individual para o i – ésimo conjunto *fuzzy* (neste caso, os conjuntos que caracterizam os termos *livre* e *fraco*). No somatório particularizado com a Equação 4.9, o limite N acomoda a quantidade de termos linguísticos (conjuntos) que contribuem na composição de $Su(Z)$. Para operações realizadas no domínio do contínuo, o somatório no domínio discreto que caracteriza a Equação 4.9 se lança como a integral escrita na

Figura 26 – Contribuições das inferências *fuzzy* do Algoritmo 7 agregadas no consequente do procedimento



Fonte: Elaborada pelo autor.

forma da Equação 4.10:

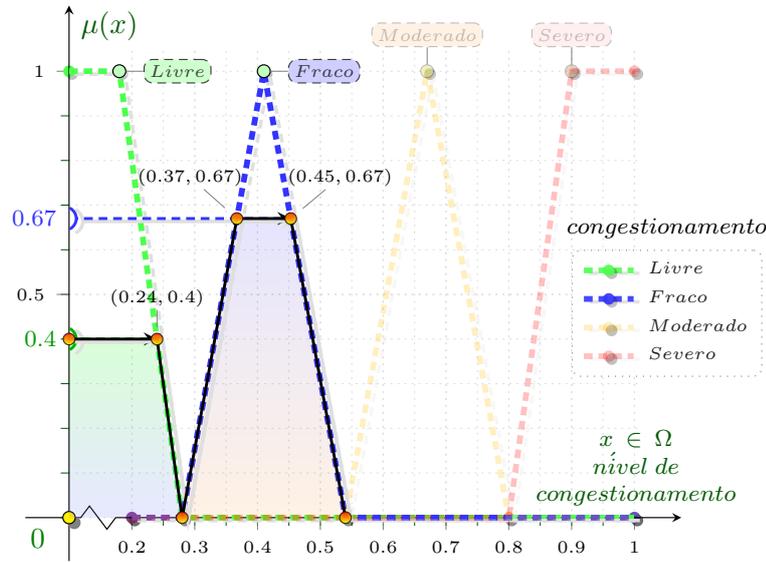
$$z_c = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} x f(x) dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) dx} = \frac{\int_{z_{min}}^{z_{max}} z \cdot \mu_{Su(Z)}(z) dz}{\int_{z_{min}}^{z_{max}} \mu_{Su(Z)}(z) dz} \tag{4.10}$$

para a qual z representa o valor da variável linguística de resposta na saída do sistema *fuzzy* e os limites z_{min} e z_{max} por sua vez, balizam os intervalos de contribuição de cada termo ativado sobre essa variável linguística, como exemplificado com as expansões numéricas introduzidas na Equação 4.11.

Entre as abordagens mais difundidas, a *defuzzificação* por meio do método CoA calcula efetivamente o valor de melhor aderência aos múltiplos termos linguísticos ativados na saída, como ilustrado pela Figura 28. Por esta perspectiva, a Equação 4.11 encontra subsídio e respaldo como uma expansão da Equação 4.10, pois reflete a área⁴ retratada pela união das contribuições dos termos ativados na composição da

⁴ Os valores de z estão mapeados para o intervalo $[0, 1]$ na Figura 28, mas por conveniência a Equação 4.11 é resolvida para o intervalo $[0, 100]$, por isso então os resultados $z_c = 0.278$ e $z_c = 27.7663$, respectivamente.

Figura 27 – Conjunto *fuzzy* $Su(Z)$ de resposta no procedimento de inferência



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 28, discernimento também referenciado em outro momento como o consequente na Figura 26.

$$z_c =$$

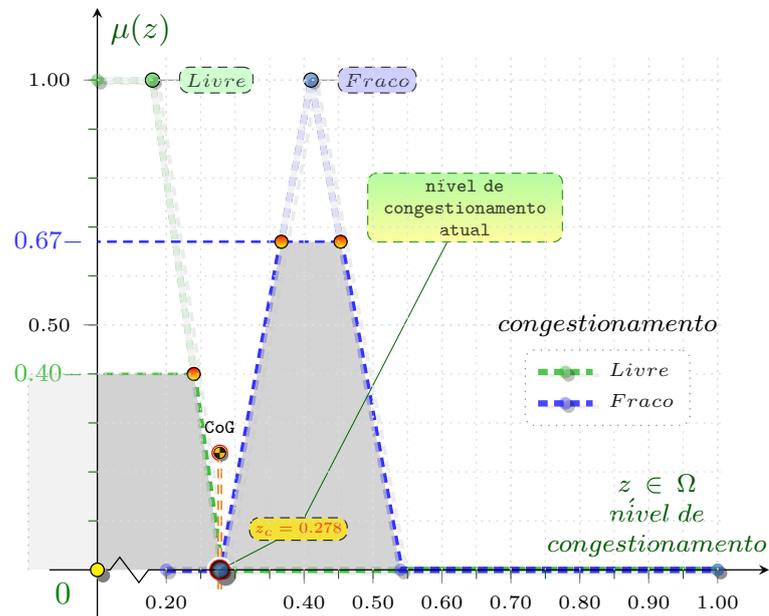
$$\frac{\int_0^{24} 0.4zdz + \int_{24}^{28} (2.8 - 0.1z)zdz + \int_{28}^{36.71} \left(\frac{z-28}{13}\right)zdz + \int_{36.71}^{45.29} 0.67zdz + \int_{45.29}^{54} \left(\frac{54-z}{13}\right)zdz}{\int_0^{24} 0.4dz + \int_{24}^{28} 2.8 - 0.1zdz + \int_{28}^{36.71} \frac{z-28}{13}dz + \int_{36.71}^{45.29} 0.67dz + \int_{45.29}^{54} \frac{54-z}{13}dz} \quad (4.11)$$

$$z_c = 27.7663$$

No contexto da VANET, as informações de estado estão nativamente acessíveis e se sustentam como entradas suficientes para os procedimentos de um sistema *fuzzy* autônomo, como por exemplo (i) a velocidade registrada por cada veículo (em analogia ao ilustrado com a Figura 19) e (ii) a densidade veicular local observada na via, descritas com os termos linguísticos apropriados e representadas por meio de conjuntos *fuzzy*. Então, a execução de um procedimento de inferência ancorado em regras consistentes possibilita obter (iii) a intensidade do congestionamento, como o conjunto *fuzzy* de resposta para a dinâmica desse sistema.

Por sua vez, aplicações embarcadas em cada um dos veículos na VANET podem se valer das respostas do procedimento de *defuzzificação* sobre os conjuntos na saída do sistema *fuzzy* referenciado, o que resulta no mapeamento do respectivo domínio da

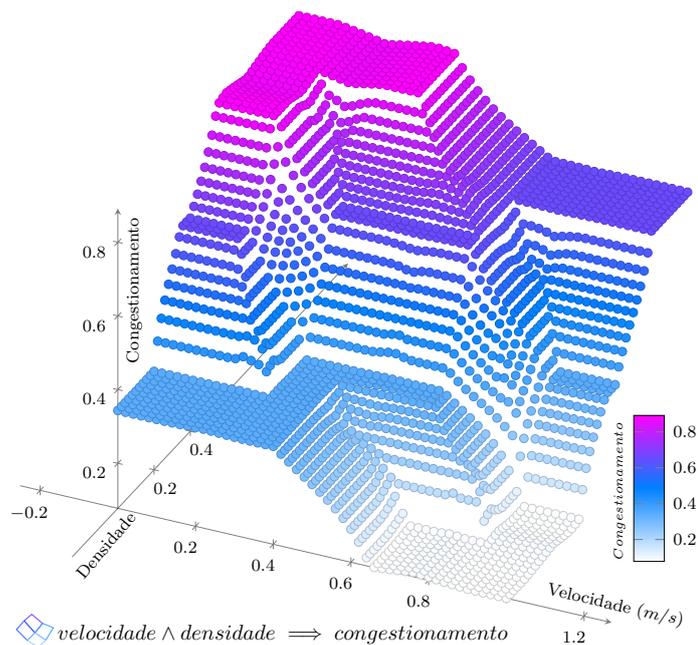
Figura 28 – Valor discreto de resposta obtido na defuzzificação calculada com o CoA, utilizado como método de determinação do CoG



Fonte: Elaborada pelo autor.

variável de interesse. Um exemplo disso é a superfície para o nível de congestionamento construída na Figura 29, que expressa a relação *fuzzy* entre a velocidade veicular e a densidade de veículos na particular vizinhança.

Figura 29 – Superfície simplificada de mapeamento da variável congestionamento no domínio *fuzzy*⁵



Fonte: Elaborada pelo autor.

Esta superfície de resposta tem sua estrutura amparada na *defuzzificação*, realizada por meio do *CoA*, de todas as possíveis combinações de valores informados com as variáveis entrada, *velocidade* e *densidade*. Os níveis de congestionamento e as condições de tráfego assim detectados, permitem que uma estratégia de disseminação de dados promova ações adaptativas de melhoria às condições identificadas. De forma semelhante, também torna viável o ajuste autônomo da potência do sinal de transmissão em cada veículo, como função da intensidade do congestionamento, no momento da comunicação dos alertas, para garantir a escalabilidade implicada à formação das VANETs.

⁵ Superfície concebida com a avaliação de um conjunto reduzido de regras e com o auxílio da ferramenta Matplotlib (HUNTER, 2007).

TRABALHOS RELACIONADOS

NESTE capítulo são introduzidas sucintas descrições dos trabalhos pesquisados por meio do estreitamento das correlações com a área e que tiveram como objetivo principal a investigação do estado da arte no contexto das estratégias com características adaptativas para disseminação de dados em VANET. Nesta construção, a aproximação adotada compreende artigos publicados em periódicos consolidados, que resultam das buscas delimitadas pelo idioma Inglês. Além destes resultados, artigos recomendados por especialistas que acompanharam este desenvolvimento e artigos utilizados como referência para as publicações próprias (Apêndice A) elaboradas, completam a seleção das revisões.

A literatura orienta sobre a evolução das soluções nesse domínio de pesquisa (VANET) ao longo dos últimos anos. Os diferentes desafios dessas redes admitem enfrentamentos com uma variedade de heurísticas. Desta forma, a avaliação crítica das abordagens realizadas por outros grupos, interessados em VANET, permite discernir a direção adequada para abordar e desenvolver novos paradigmas ou adequações para as estratégias de disseminação de dados amparados na literatura.

Um conjunto de trabalhos elaborados pela comunidade acadêmica e que compõem discussões de caráter mais amplo foram utilizados para elaborar os primeiros capítulos. Na seção seguinte (Seção 5.1), essas interpelações que compartilham particularidades com o desenvolvimento da estratégia eFIRST são apresentadas. Para consolidar a pretensão de fornecer subsídios que respaldam os fundamentos e conceitos já formalizados, tratam-se de discussões que investigaram questões pertinentes aos desafios impostos pela disseminação de dados na heterogeneidade das VANETs. A atenção está centrada nos aspectos de formação das estratégias adotadas na disseminação, que descrevem a forma como a comunicação pode ser conduzida para propagar uma informação particular, também em protocolos atrelados aos ITS e que atendem, de alguma forma, a expectativa de contribuir com soluções para atenuar as situações de congestionamentos

nas rodovias ou em trajetos dos traçados urbanos.

5.1 Trabalhos de Contextualização

Esta seção tem âmbito introdutório, corresponde a uma breve descrição da literatura geral¹ para VANET, com a intenção de agregar segurança às considerações realizadas nos capítulos anteriores. São destacados de forma condensada os principais aspectos discutidos em cada trabalho, algumas das limitações e também as contribuições mais relevantes que os caracterizam ou que são aproveitadas como referências pertinentes neste contexto.

A estratégia de menor complexidade para conceber a disseminação de dados em redes *ad hoc* de comunicação veicular se ampara em inundações, que em uma outra perspectiva subsidia a proibitiva ausência de escalabilidade. De forma inconveniente, esta simplicidade tem relação inversa com a capacidade de colapsar e deteriorar os canais de transmissão. Entre tantos desafios, assumir uma distribuição homogênea dos nós de comunicação (veículos) com frequência implica em suposição insustentável para VANETS, devido aos congestionamentos, gargalos e outras características ou adversidades (ARTIMY, 2007).

A abordagem retratada neste trabalho (Seção 6.1) avança na direção dos algoritmos de controle, que desenvolvem estratégia adaptativa sobre o número de vizinhos, com base na atribuição de alcance dinâmico por meio do ajuste na potência do sinal de transmissão em cada veículo que integra a VANET. Por sua vez, a disseminação e o problema do congestionamento de veículos recebe merecida atenção na literatura, contemplando algumas acanhadas soluções propostas no sentido de otimizar o fluxo de veículos nas cidades e nas rodovias.

Desafio sempre em evidência, a disseminação das informações de segurança veicular é o principal contexto em Chennikara-Varghese *et al.* (2006). Neste âmbito, o trabalho analisa esquemas para comunicação V2V em VANET subordinados aos requisitos, como a latência de 100ms em aplicações de segurança, apontados pelo USDOT (U.S. Department of Transportation) (USDOT, 2006). O texto evidencia a necessidade de aproximar a comunicação V2V ao tempo real, para viabilizar alertas de segurança. Em consequência, protocolos de roteamento devem resolver problemas com a topologia, influenciados pela mobilidade e condições de comunicação, bem como pela ausência de relacionamento intrínseco entre veículos. Os esquemas *unicast* baseados em topologia, utilizados em aproximações proativas ou reativas para definição de rotas, recebem as primeiras atenções. Seguidos dos protocolos baseados em posição (PBR), que decidem o próximo encaminhamento por meio das informações de posição dos nós vizinhos

¹ Sugeridas por especialistas.

e do destino. Como se beneficiam de conhecimento local, são algoritmos escaláveis e robustos às alterações topológicas. Então, da combinação das abordagens com posição e topologia resultam os esquemas híbridos. Em outra frente, protocolos *multicast* e *broadcast* são próprios às aplicações de segurança, em comunicações com veículos nas imediações. Na disseminação delimitada geograficamente, que utiliza um grupo *multicast* definido como o conjunto de nós dentro da ROI, o destino é especificado por uma posição geográfica.

A identificação de fatores como o *overhead* na descoberta ou manutenção das rotas e das posições dos nós em redes de veículos não coordenados é suficiente para que poucos esquemas sejam admissíveis à segurança veicular. Sem elaborar uma nova solução ou adotar uma abordagem única, Chennikara-Varghese *et al.* (2006) descreve desafios para VANET e subsidia a redução desses esquemas de comunicação para segurança veicular. Além disso, aponta os algoritmos baseados em posição, esquemas de *geocasting* e comunicações baseadas em grupos de pares locais como tendências promissoras.

Os desafios, a identificação de protocolos para roteamento e modelos de mobilidade para VANET delimitam as direções tomadas por Li e Wang (2007). Nesse trabalho, consta que na indústria do Japão, ainda em 1980 foram iniciados estudos para comunicação V2V. Na academia, a disseminação das tecnologias *wireless* promoveu o interesse em VANET a partir de 2002. Então, fabricantes de automóveis criaram o *Car2Car Communication Consortium (C2CCC)* (C2C-CC, 2018) e o IEEE formou o grupo de trabalho 802.11p. Para Li e Wang (2007), VANETs incluem veículos com comunicação *wireless*, que figuram como nós móveis bem como roteadores para outros nós. São redes *ad hoc* de topologia dinâmica, impactados pelas desconexões frequentes, com áreas geográficas de comunicação, que se utilizam de predição e modelos de mobilidade, operam em diferentes ambientes, admitem interação com sensores embarcados, reguladas por rígidas restrições de atraso, mas que contam com recursos de energia, armazenamento e processamento satisfatórios.

Li e Wang (2007) classificam o roteamento *ad hoc* em categorias (Seção 3.2) e apresentam aspectos desfavoráveis das estratégias projetadas para MANET como solução direta para VANET, justificando a necessidade por inovações. Em seguida, são descritos modelos de tráfego, estabelecendo argumentação crítica que obriga a adoção de um modelo de mobilidade realista. Por fim, as aplicações em VANET são categorizadas como ITS e aplicações de conforto. ITS são as principais aplicações de VANET, se valem de esquemas de *broadcast* ou *geocast* para trocar e distribuir mensagens, enquanto o *unicast* impera em aplicações de conforto.

Em Li e Wang (2007), paradigmas baseados em posição e *geocasting* também são promissores para VANET. Sem solução universal ou critério de avaliação exclusivo para

protocolos de roteamento, o desempenho destes em aplicações para VANET depende fortemente do modelo de mobilidade, do ambiente de condução e da densidade de veículos nas proximidades. No texto, questões de segurança não recebem atenção direta, mas são citados esforços realizados em Fonseca e Festag (2006) e Hubaux, Čapkun e Luo (2004) e de forma semelhante, a leitura sobre disseminação de dados eficiente e compartilhamento de dados é direcionada para Bejan e Lawrence (2002), Nandan *et al.* (2005), Wu *et al.* (2004) e Zhao e Cao (2008). Ao final da redação, permanecem a fragmentação de rede, o roteamento com restrições de atraso e redes tolerantes ao atraso (DTN), como veios de pesquisa. A ausência da informação quantitativa para avaliação rigorosa das soluções é respaldada pela diversidade dos cenários onde as propostas são consideradas.

Hartenstein e Laberteaux (2008) iniciam com um histórico para VANET, sob a motivação de que redes celulares não se adequam à comunicação V2V e V2I e, que sistemas GPS e *transceivers* WLAN impulsionam positivamente. Para Hartenstein e Laberteaux (2008), em VANET existem aplicações de segurança, para a eficiência do transporte e para entretenimento/informação. Essas aplicações devem atender requisitos como desfrutar de ambiente favorável, considerar a taxa de veículos com tecnologia para VANET, no período de transição até a completa adoção da capacidade de integração; respeitar a conformidade com fatores tecnológicos, como o tamanho de pacotes, a frequência requerida, faixas de comunicação, restrições de latência, níveis de segurança e a disponibilidade da infraestrutura. A comunicação *broadcast onehop* é requisito técnico e pode ser classificada como dirigida por eventos ou periódica. Em VSC (*Vehicle Safety Communications*), as mensagens periódicas podem exigir frequência de 10 mensagens/s, com latência máxima de 100ms e alcance mínimo de 150m. Porém, em tráfego veicular denso, a comunicação periódica sobrecarrega o canal de rádio. Outro pré-requisito é a infraestrutura com RSU, além de segurança para estabelecer confiança sobre a informação recebida.

O principal desafio em VANET é que não há coordenação da comunicação. Por isso, há necessidade de um canal de controle compartilhado. Entretanto, esses canais podem sofrer congestionamento em redes densas e a utilização de mais canais incorre em problemas de sincronização. Outros desafios são a topologia dinâmica de rede e o impacto do ambiente sobre a propagação do sinal de rádio. Como VANETs devem operar em condições de tráfego denso e esparsos, modelos de tráfego veicular e propagação de sinal são críticos. São citados modelos microscópicos e macroscópicos, bem como ferramentas de simulação de tráfego. Sobre esse aspecto, há ênfase na atenção necessária para a interação e acoplamento entre o simulador de tráfego e simulador de rede. Hartenstein e Laberteaux (2008) destacam o IEEE 802.11p, baseado na multiplexação da divisão de frequência ortogonal (OFDM), onde as taxas de transferência variam de 3 a 27Mbps para cada canal. Por sua vez, a disseminação *multihop* deve se

servir de informações geográficas, que contribuem nas decisões de encaminhamento. O artigo também aborda CBF para robustez à rede e a padronização do significado das mensagens e alertas. Por fim, a necessidade de suportar aplicações de VANET nativas justifica a arquitetura de pilha dupla, proposta na WAVE (Subseção 2.3.2).

Em Hartenstein e Laberteaux (2008), segurança é discutida com a sustentação da autenticidade dos dados, considera-se que o remetente é aceito como fonte confiável e que o conteúdo enviado não é adulterado. Ocorre um contraste entre as necessidades de autenticação e privacidade, pois a aceitação dos usuários pode ser comprometida com as questões de fragilização da privacidade. Ademais, permanece o desafio de realizar autenticação em cenários de *broadcast*. O artigo é amplo na revisão, motivações e desafios, mas não se estende para atacar fragmentação temporal de rede ou congestionamento, por exemplo.

Com maior granularidade, Chen *et al.* (2011) destacam a capacidade de disseminação *multihop* em VANET. Entretanto, esse procedimento requer a localização dos nós e um método para encaminhamento dos dados até seus destinos. O *flooding* é descrito como mecanismo para implementar *broadcasting multihop*, com a ressalva de agregar *overhead* de comunicação devido ao envio redundante. Então, são discutidos métodos de *flooding* eficientes como alternativa. Informações de topologia da rede, obtidas com uma sucessão de consultas e respostas, permitem selecionar os nós de encaminhamento para *multicasting*. Em outra frente, as posições do remetente e destinatário, posições dos nós vizinhos ou coordenadas da região *multicast* são utilizadas para determinar os nós de encaminhamento *multicasting*. Os caminhos em VANET são instáveis, devido a desconexões frequentes e incerteza na mobilidade, observação que remete à DTN como alternativa paliativa. Mas, a predição de mobilidade e rotas de veículos, em conjunto com informações de GPS, também permitem mitigar os rompimentos que ocorrem nestas redes. Ao tratar *unicast*, o artigo cita o CarNet (MORRIS *et al.*, 2000), que utiliza um serviço de localização escalável e encaminhamento geográfico na comunicação V2V, sem *flooding*.

Na comunicação fim-a-fim, Chen *et al.* (2011) destacam que a natureza dinâmica da VANET torna difícil justificar o *overhead* de serviços de localização para *unicast*. Em seguida, o padrão IEEE 1609.2 (Subsubseção 2.3.2.1) é apontado como iniciativa para proteger aplicações. Entre outras questões de segurança no encaminhamento e disseminação de dados, diversas formas de comprometimento como a falsificação de localização e o *sybil attack* são formalizados, com as respectivas considerações para mecanismos apropriados de contenção.

Na argumentação final, Chen *et al.* (2011) se voltam para a necessidade de avaliar o envolvimento da infraestrutura de rede, sobre o desenvolvimento das comunicações V2V. Também, registram a incidência de lacunas, por parte da comunidade acadêmica,

na elaboração de técnicas de difusão flexíveis à dinâmica das VANETs.

5.2 Identificação de Congestionamento

Para tratar congestionamento em VANET, esta seção descreve algumas das iniciativas direcionadas à detecção das condições do tráfego local. Neste contexto, uma via pode ser considerada congestionada se a velocidade média observada é inferior à capacidade para a qual foi projetada. Este conceito de congestionamento está associado aos de capacidade da via e assim, representa a quantidade máxima de veículos que podem se movimentar em um trecho em um intervalo de tempo, sob condições específicas de composição de tráfego e ambientais. Entretanto, segundo (BERTINI, 2006), não há consenso de formalização para a definição universal de congestionamento. A definição ainda é imprecisa, pois o indivíduo tem diferentes percepções e expectativas sobre esta condição. Algoritmos de detecção de congestionamento são projetados para encontrar áreas de alta densidade de tráfego e baixas velocidades (PADRON, 2011). Identificar tal situação e então, disseminar essa informação em VANET pode auxiliar os condutores na decisão por rotas de melhores condições.

Em Fukumoto *et al.* (2007), os autores apresentam o sistema COC (*Content Oriented Communications*), que utiliza comunicação V2V em VANET. O COC tem por objetivo atender os condutores, com informações oportunas de acidentes veiculares e congestionamento. Os veículos recolhem informações na comunicação entre si, a analisam e produzem conteúdo útil aos condutores, mas que também é disponibilizado para outros veículos. Nessa comunicação V2V os nós trocam mensagens identificadas como nível 1, 2 e 3 (*Lv1, Lv2 e Lv3*), cada qual com um conjunto de informações. Ao *Lv1* estão agregadas informações de GPS, como a posição atual do veículo por exemplo, direção, sentido, velocidade instantânea, entre outros. Com o nível *Lv2* são mantidas estimativas, como a densidade do tráfego local e distância percorrida, geradas por meio do procedimento de detecção dos *beacons* difundidos em *broadcast* pelos outros nós. Por sua vez, *Lv3* reflete propriedades da vizinhança local, que resultam da avaliação do conjunto de mensagens *Lv2* recebido e informam sobre distância e velocidade médias nas proximidades. Essas informações compartilhadas de forma colaborativa permitem que cada veículo avalie a situação do tráfego. A abordagem de Fukumoto *et al.* (2007) impõe sobrecarga significativa aos canais de comunicação, conseqüente ao custo da troca de informações e *beacons*.

O *StreetSmart* é o sistema projetado por Dornbush e Joshi (2007) para responder às necessidades dos condutores. A proposta se ampara na condução auxiliada por GPS para obter a posição e velocidade e, na comunicação sem fio V2V. Conforme Dornbush e Joshi (2007), o *StreetSmart* suporta a execução em rede esparsa, com baixa

densidade de veículos, pois utiliza um algoritmo de agrupamento distribuído que não necessita de conectividade constante. Esse sistema utiliza uma combinação de pequenos agrupamentos (*clustering*) com comunicação epidêmica, para encontrar e disseminar padrões de tráfego. Cada nó mantém uma versão compacta das informações de tráfego dos outros nós, que são expressas como estatísticas sumarizadas sobre o agrupamento. Somente essas estatísticas são trocadas na comunicação epidêmica. Além disso, destaca-se o fato da troca de informações se limitar às áreas de tráfego inesperado, nas situações que possivelmente identificam um congestionamento. As velocidades permitidas nas vias balizam o movimento esperado, assim registros discrepantes diferenciam condições anormais para velocidade dos veículos.

Padron (2011) apresenta em seu trabalho um algoritmo de detecção de congestionamento distribuído, denominado **VOTING** (*Vehicular Over-The-Air Traffic Information Gathering*). Nesta abordagem, a estratégia adotada reduz a sobrecarga na comunicação V2V. Os veículos transmitem informações a cada intervalo de *broadcasting*, que é fixo e igual para todos os nós. Com o amparo desse processo de *broadcast*, são disseminadas informações sobre a posição atual, velocidade e direção do deslocamento veicular. A velocidade limite na via permite concluir sobre uma região de congestionamento, uma vez que a grande maioria dos veículos atravessará essa área em velocidade significativamente menor que a permitida. Por essa observação, o **VOTING** se fundamenta na ideia básica da decisão por maioria. Um veículo, ao observar a própria velocidade menor que a permitida, admite a situação de congestionamento e valida essa área de congestionamento com os dados recebidos dos outros veículos. Assim, um processo colaborativo de votação se inicia, de forma que os veículos da vizinhança sinalizam se concordam ou discordam com as condições singulares de tráfego. Quando o número de veículos que concordam com a observação supera aqueles em desacordo por uma certa margem, o congestionamento é então confirmado e transmitido no intervalo apropriado. Não ocorrem retransmissões de informações. Além disso, apenas os veículos que fazem parte do congestionamento podem caracterizá-lo e neste contexto, alterar informações de congestionamento. A confiabilidade desta estratégia na identificação dos congestionamentos está diretamente relacionada ao mecanismo de validação colaborativo adotado.

Pela constatação das limitações dos sistemas de **VANET** que se apoiam nas informações de **GPS** em cenários específicos, Fahmy e Ranasinghe (2008) assumem a ausência dos mesmos. Para contornar as restrições de operação com **GPS** em áreas descobertas de sinal ou em condições climáticas desfavoráveis, os veículos contam somente com dispositivos de comunicação sem fio e cada nó da **VANET** é identificado por meio de **ID** único, representado como um número inteiro. Cada nó envia *beacons* em intervalos aleatórios e, observa os *beacons* dos vizinhos para decidir sobre o congestionamento. Todos os veículos decidem sobre seu estado de congestionamento de forma análoga.

Ao concluir afirmativamente sobre a própria condição de congestionamento, um algoritmo de contagem baseado em árvore é executado para determinar o número total de veículos envolvidos. Nesta árvore os nós representam os veículos no congestionamento, entretanto na VANET a raiz é desconhecida. Então, o algoritmo seleciona o maior ID como raiz. A seleção da raiz e a contagem são realizadas simultaneamente. Cada nó terá o total da sua subárvore, ou seja, as folhas terão o total como 1 e a raiz terá a contagem total. O congestionamento é inferido com base nos intervalos de tempo para chegada e saída dos nós em determinada área. No entanto, o momento inicial é mais sensível já que, tipicamente, nessa situação não há veículos no estado de congestionamento. Desfavoravelmente, o veículo pode aguardar por longos intervalos de *beacons* para decidir sobre seu estado. A VANET esparsa, com baixa densidade de veículos, também pode representar um obstáculo à identificação do congestionamento, uma vez que a estratégia depende fortemente da quantidade de veículos para caracterizar a condição de congestionamento.

Com auxílio de um protocolo *geocast* simples e um algoritmo de *Dijkstra* dinâmico para o planejamento e determinação dos itinerários menos congestionados, [Lakas e Cheqfah \(2009\)](#) apresentam uma solução integrada para o compartilhamento de informações de congestionamento. Nessa abordagem, os veículos monitoram continuamente sua própria velocidade e o tempo de viagem. A disseminação dessas informações é responsabilidade de uma das componentes da solução, o protocolo *geocast* baseado em *flooding*, que utiliza comunicação *multicast* com *flooding* controlado e o conceito de ROI. À versão modificada do algoritmo de *Dijkstra*, se reserva a tarefa de recalculá-lo dinamicamente o percurso de um veículo para um dado destino, em busca do trajeto de menor congestionamento. O tempo de viagem atual, frente a expectativa do tempo de viagem sem tráfego, permite ao veículo estimar um índice de congestionamento. A definição de um procedimento de perguntas e respostas entre os veículos possibilita obter informações sobre o tráfego veicular em uma região. Entretanto, uma solicitação atendida por vários veículos resulta em alta sobrecarga, com a consequência da inconveniente saturação do canal de comunicação. Favoravelmente, esta solução contribui para a detecção do tráfego veicular em conjunto com informações para evitar as regiões de congestionamento, oferecendo trajetos diferentes para um destino.

Em [Knorr e Schreckenberg \(2012\)](#), sustentados na avaliação das mensagens recebidas, os veículos detectam o estado do tráfego local. Então, em caminho análogo ao apresentado com [Lakas e Cheqfah \(2009\)](#), os veículos podem adaptar seu comportamento de condução, se necessário. Dispositivos de comunicação sem fio em padrão IEEE 802.11b, com propagação do sinal em modelo *two ray ground*, enviam periodicamente *beacons* de *status*. Essas mensagens incluem informações como a posição geográfica atual, velocidade, aceleração e um identificador único para o veículo. Com as informações dos *beacons* recebidos, os nós estabelecem uma velocidade limiar v_T (*threshold*

velocity) utilizada como métrica para alterar o comportamento de condução. Por sua vez, as informações dos próprios *beacons* de *status* do veículo são atualizadas, com essa alteração na condução. Esta abordagem se beneficia da utilização de *beacons* periódicos em *broadcast*, o que atenua a sobrecarga do canal de comunicação. Entretanto, o estado do tráfego local detectado não recebe a validação dos pares, com auxílio de algum processo colaborativo por exemplo. Além disso, o sucesso da estratégia adotada está diretamente relacionado com as escolhas realizadas pelos condutores, que avaliam as informações recebidas e decidem sobre as alterações de condução.

Para [Cao et al. \(2017\)](#), a desigualdade caracteriza a velocidade dos veículos e a alta mobilidade, esta última restrita ao traçado e cerceada pelas condições do mesmo. De forma idêntica, também se configura a distribuição da densidade de veículos, o que afetará a conectividade nas VANETs. Ancorados neste argumento, [Cao et al. \(2017\)](#) sustentam a necessidade de analisar a correlação entre a densidade de veículos e o congestionamento da rede nas VANETs para amparar a concepção do mecanismo de encaminhamento e, assim, favorecer o desempenho da rede. A abordagem considera condições ruidosas para a propagação do sinal dos veículos, com interferência potencial decorrente de obstáculos, tais como árvores, edifícios e outras construções, resultando em sombreamento, por exemplo. Na elaboração das observações, para o conjunto fixo de 100 nós, são realizadas simulações com duração de 1000s, todas confinadas a uma região quadrada de 1500m x 1500m e estruturada em nove intersecções. As velocidades se acomodam no intervalo de 10m/s até 20m/s e cada veículo pratica um alcance de transmissão uniforme de 250m.

O trabalho de [Cao et al. \(2017\)](#) adota a densidade definida como o número de veículos em torno das intersecções em um determinado período de tempo, e os experimentos, conduzidos sob os ambientes em padrão IEEE 802.11 e IEEE 802.11p, se adéquam aos procedimentos estabelecidos com o AODV. Em conformidade ao alcance da comunicação veicular, a região estatística para registro e análise da densidade é uma área circular, com centro em uma intersecção e raio descrito pelo alcance de transmissão do nó. Ao analisar a densidade veicular nas adjacências das intersecções e a métrica de desempenho do congestionamento da rede, [Cao et al. \(2017\)](#) relatam resultados gerais superiores para as avaliações com IEEE 802.11p e acenam para o impacto indireto da densidade veicular no congestionamento de rede nas VANETs. Em áreas de intersecção com alta densidade de nós se verifica congestionamento mais desfavorável, taxa de descarte de pacotes alta e baixo *throughput*. Considerações que instigam a avaliação detalhada da influência da densidade de nós no congestionamento da rede nas VANETs.

As estratégias apresentadas até a seção corrente (Seção 5.2) limitam-se ao processo de identificação das áreas em condições de tráfego inesperado, com limitada acurácia

para a estimativa da intensidade do congestionamento veicular² local observado. Na sequência (Subseção 5.2.1), os trabalhos discutidos utilizam recursos distintos de inteligência computacional nas soluções para constatar e reportar os congestionamentos.

5.2.1 Identificação de Congestionamento com Lógica Fuzzy

O estado do fluxo do tráfego veicular não proporciona limiares bem definidos para distinguir entre os tipos de tráfegos que o compõem, característica associada à natureza intrínseca aos fluxos de tráfego, onde as variações seguem um processo contínuo. Geralmente, se explora a possibilidade de diferenciar a situação normal da condição de incidente. Entretanto, essa diferenciação não tem uma separação evidente, o que resulta em taxas de erros maiores para métodos tradicionais de detecção nas proximidades dos limiares. Para problemas dessa natureza, de decisão não determinísticas e complexas, métodos baseados em lógica *fuzzy* respondem com resultados mais promissores. Sistemas *fuzzy* tratam com maior propriedade variáveis de entrada que apresentam grau parcial de adesão em regiões de fronteira (BINGLEI; ZHENG; HONGWEI, 2008).

A solução de detecção eficiente das situações de congestionamento, elaborada por Bauza, Gozalvez e Sanchez-Soriano (2010), utiliza lógica *fuzzy* para informar sobre a localização, a extensão e a intensidade do congestionamento veicular. Os autores apresentam a estratégia CoTEC (COoperative Traffic congestion detECTION), que por meio da comunicação V2V realiza a validação cooperativa das condições do tráfego detectadas pelo nó na abordagem com sistema *fuzzy*. No CoTEC, cada veículo monitora continuamente as condições locais de tráfego e utiliza lógica *fuzzy* para identificar a condição de congestionamento, ao exceder um limiar de congestionamento (C_{th}) predefinido. Então, uma situação de congestionamento detectada localmente ativa o procedimento cooperativo, que correlaciona as decisões individuais para a detecção mais precisa. O CoTEC utiliza CAM (Cooperative Awareness Messages) ou *beacons* em *broadcast*, que os veículos transmitem periodicamente, com informações de velocidade e localização para anunciar sua presença aos nós vizinhos.

A densidade de tráfego local é estimada amparada na recepção dessas mensagens. Assim, o sistema *fuzzy* de quantificação do congestionamento de tráfego utiliza a densidade de tráfego e a velocidade do veículo como parâmetros de entrada. Na saída do sistema, fornece o nível de congestionamento de tráfego ou a intensidade do engarrafamento correspondente. O procedimento cooperativo no mecanismo de detecção se baseia em comunicações *multihop*. Para alcançar um consenso na decisão sobre a situação de congestionamento de tráfego, esse mecanismo troca mensagens

² De forma distinta ao congestionamento da rede tratado por Cao *et al.* (2017).

de dados do tipo CTE (*Cooperative Traffic Estimation*). Estas mensagens são utilizadas para coletar as estimativas de tráfego local de diferentes veículos, e cooperativamente, correlacioná-las para uma detecção coerente e confiável. Além disso, também permitem estimativas para quantificar o nível do congestionamento e sua extensão, uma vez que cada veículo atualiza as informações do tráfego ao transmitir uma mensagem CTE, com base nas suas próprias estimativas locais. Dessa forma, veículos situados na extremidade do congestionamento tomam ciência da amplitude do engarrafamento. Apenas os veículos no congestionamento participam do processo de retransmissão das mensagens CTE. Em áreas não congestionadas, a retransmissão CTE se encerra e ocorre somente a disseminação de informações de congestionamento sumarizadas a veículos de outras regiões. Os encaminhamentos CTE são regulados com base em um temporizador, de duração inversamente proporcional à distância para o transmissor anterior. Segundo Bauza, Gozalvez e Sanchez-Soriano (2010), essa abordagem concentra a atenção sobre a detecção cooperativa de congestionamento de tráfego. Então, a disseminação eficiente dessa informação para veículos em situação de aproximação não é contemplada e os resultados apresentados se limitam ao ambiente de rodovias.

O trabalho de Araujo *et al.* (2014) apresenta o CARTIM (*Cooperative vehicular Traffic congestion Identification and Minimization*), uma estratégia de identificação e redução de congestionamento veicular. Fortemente inspirado e baseado no CoTEC (BAUZA; GOZALVEZ; SANCHEZ-SORIANO, 2010), o CARTIM agrega uma heurística que utiliza políticas para sugerir novas rotas e, desta forma, reduzir os níveis de congestionamento. Conforme Araujo *et al.* (2014), trata-se de uma proposta ciente de contexto viável para cenários heterogêneos como rodovias e vias urbanas, que fazem parte do escopo de VANET. Esta abordagem propõe uma técnica cooperativa para realizar a detecção e redução de congestionamento em redes veiculares, utilizando o padrão IEEE 802.11p para troca de informações sobre a situação do tráfego local atual. Para atender esse propósito, o CARTIM se ampara em um sistema baseado em lógica *fuzzy* e uma heurística que ambiciona reduzir o tempo de viagem dos condutores. Nesse sentido, a redução do tempo de viagem é consequência da proposta para alteração das rotas, com subsequente melhoria do fluxo do tráfego de veículos, em caso de congestionamento. Análogo ao CoTEC, os autores descrevem a lógica da proposta elaborada em três componentes: (i) estimativa local de tráfego veicular, (ii) validação cooperativa do congestionamento do tráfego e (iii) a heurística para minimizar o congestionamento do tráfego. A arquitetura de comunicação V2V permite estimar nível de congestionamento do tráfego veicular local. As informações são compartilhadas por meio da troca periódica (0.5Hz)³ de mensagens *beacons* entre os veículos. Ao enviar essas mensagens, cada veículo informa a própria velocidade e localização atual, aos nós vizinhos.

³ Um *beacon* é transmitido por um veículo a cada 2 segundos.

A validação do nível local de congestionamento, detectado com o sistema *fuzzy* embarcado, ocorre amparada por um processo colaborativo. No **CARTIM** também são utilizadas mensagens **CTE**, com o mesmo conceito formalizado no desenvolvimento do **CoTEC** (**BAUZA; GOZALVEZ; SANCHEZ-SORIANO, 2010**), onde um limiar de congestionamento (C_{th}) é estipulado previamente. Esse limiar opera como um gatilho que, quando alcançado, inicia o processo colaborativo de validação das condições detectadas. Em relação aos *beacons*, mensagens **CTE** resultam em maior sobrecarga para o canal de comunicação e, desta forma, são enviadas com uma frequência menor (0.1Hz). Por fim, a heurística adotada busca reduzir o congestionamento e, conseqüentemente, também minimizar o tempo do condutor no trânsito. Para alcançar esse propósito, são sugeridas alterações nas rotas ao se identificar condições de congestionamento em uma determinada via. Tarefa que no **CARTIM** exige um conjunto maior de mensagens de controle, pois as mensagens **CTE** são também transformadas em alertas para acomodar a heurística. A sobrecarga de comunicação que resulta desse mecanismo representa uma métrica que merece maior atenção, em avaliação mais minuciosa.

Com uma proposta de mesma direção, mas fundamentando o trabalho sobre uma rede neural artificial (**ANN**) treinada com antecedência, **Meneguet et al. (2016)** embarca a estratégia denominada **INCIDEnT** (*INtelligent protocol of CongestIon DETection*) (**MENEGUETTE et al., 2016**), com o objetivo de agregar um mecanismo de alerta para o condutor identificar e evitar rodovias congestionadas. Entretanto, a dinâmica intensa inerente a qualquer **VANET** (**VILLAS et al., 2012; MAIA et al., 2013**) fragiliza a capacidade de resposta da **ANN**, que experimenta circunstâncias de adaptação estreita. Nessa abordagem, a convergência para a determinação dos pesos das sinapses da **ANN** ocorre em momento que antecede a integração da estratégia ao veículo. De forma diferente, considerando a convergência embarcada, o procedimento para a determinação dos pesos compromete o desempenho da estratégia.

Em divergência ao que se verifica com estratégias baseadas na capacidade de adaptação, mas ainda atendendo ao propósito de detectar e atenuar congestionamentos de tráfego para **ITS**, o **FOX** (*Fast Offset Xpath*), desenvolvido em **Brennan et al. (2016)**, descreve um mecanismo de tempo real que dedica atenção para a tarefa de otimizar o fluxo e o movimento de veículos em centros urbanos. O **FOX** relata escalabilidade, assim como condições para minimizar o congestionamento dos veículos e, conseqüentemente, reduzir o tempo de viagem, o consumo de combustível e as emissões de CO_2 . Contudo, substancialmente diferente das outras heurísticas de referência abordadas nesta seção, o **FOX** presume e se acomoda sobre toda uma infraestrutura de **RSU** estabelecida em momento anterior.

Ao demonstrar cautela com a utilização de frequência de *beacon* fixa, a avaliação apresentada em **Alhameed e Mahgoub (2017)** direciona toda a atenção ao desenvolvimento de um esquema adaptativo, sustentado em lógica *fuzzy*, para ajustar a taxa

de sinalização (*beaconing*). Ainda que indiretamente, a identificação das situações de congestionamento no tráfego local deriva, subjetivamente, da observação do tempo de ocupação do canal de comunicação calculado (CBT) e do *ranking* de congestionamento desse mesmo canal na saída do sistema *fuzzy*. Nesta aproximação, os veículos ajustam a próxima frequência de *beacon* de acordo com o (i) tempo ocupado do canal de comunicação (CBT) e, os fatores (ii) mobilidade, para refletir a situação do tráfego e (iii) razão de entrega de pacotes (PDR), que informa sobre a qualidade dos enlaces.

Para a elaboração do esquema VAB (*VANET Adaptive Beaconing Based on Fuzzy Logic*) (ALHAMEED; MAHGOUB, 2017) proposto, as entradas do sistema *fuzzy* são definidas de modo que:

- *Fator CBT*: expressa a fração de tempo em que o canal de comunicação é apurado ocupado pelo nó x durante um intervalo de monitoramento, devido à própria atividade ou da vizinhança. O cálculo desse fator respeita a Equação 5.1.

$$\text{ChannelBusyTimeFactor} = \frac{CBT_x - CBT_{min}}{CBT_{max} - CBT_{min}} \quad (5.1)$$

onde, CBT_x corresponde ao tempo que o veículo x detecta o canal como ocupado durante o monitoramento. CBT_{min} e CBT_{max} reportam, respectivamente, os valores mínimo e máximo para essa métrica, informados pelos vizinhos do nó x .

- *Fator mobilidade*: agrega as observações de distância e velocidade com relação aos veículos na vizinhança. Primeiramente, calculando a distância d_i entre o veículo x e o veículo vizinho i . Em seguida, considerando v_i como a velocidade do veículo vizinho i a Equação 5.2 permite calcular a média (K), que resulta da soma de entre d_i e v_i sobre todos os (n) nós vizinhos do veículo x .

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i + v_i)}{n} \quad (5.2)$$

Para finalizar esse procedimento, a Equação 5.3 permite obter o *fator mobilidade* como uma relação entre a média K e o alcance de transmissão R , da qual se subtrai um fator de suavização α .

$$\text{MobilityFactor} = \frac{K}{R} - \alpha \quad (5.3)$$

- *Fator PDR*: informa a proporção de pacotes recebidos com sucesso em relação ao total enviado durante um intervalo de tempo, considerando os vizinhos dentro do alcance de transmissão.

Por fim, o sistema *fuzzy* amparado em uma combinação de 27 regras processa esses três fatores na entrada para inferir a saída como um *ranking* de congestionamento no canal de comunicação, com avaliações que consideram 5 composições formadas no comedido intervalo entre 10 e 200 veículos. Em conformidade com (ALHAMEED;

MAHGOUB, 2017), o *beaconing* adaptativo é necessário para a redução do congestionamento no canal de comunicação e para agregar mais informação cooperativa no contexto da vizinhança.

Na Tabela 7 são apresentadas, de forma sumarizada, algumas das características registradas com as estratégias de identificação de situações adversas, que apontam forte tendência de congestionamento.

Tabela 7 – Abordagens para monitoramento e detecção de tráfego veicular

Referência	Situação de congestionamento							
	Nível de congestionamento	Extensão do congestionamento	Abordagem cooperativa	Divulgação da detecção	Inteligência computacional	Disseminação adaptativa	Encaminhamento otimizado	Energia ajustável (economia)
Fukumoto <i>et al.</i> (2007)	X	X	✓	X	X	X	X	X
Dornbush e Joshi (2007)	X	✓	✓	X	X	X	X	X
Fahmy e Ranasinghe (2008)	X	X	X	X	X	X	X	X
Lakas e Cheqfah (2009)	X	✓	✓	X	X	X	X	X
Bauza, Gozalvez e Sanchez-Soriano (2010)	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Padron (2011)	X	X	✓	✓	X	X	X	X
Knorr e Schreckenberg (2012)	X	X	X	X	X	X	X	X
Araujo <i>et al.</i> (2014)	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Meneguette <i>et al.</i> (2016)	✓	X	✓	X	✓	X	✓	X
Alhameed e Mahgoub (2017)	✓	X	✓	X	✓	X	X	X
eFIRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Arquitetura de comunicação V2V

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3 Protocolos de Referência para a Disseminação

Esta seção fornece uma descrição detalhada para diversas técnicas de disseminação de dados em VANET. Sem a pretensão de esgotar a literatura, o conjunto de estratégias apresentado nesta discussão compreende as soluções utilizadas como comparação aos resultados intermediários gerados para subsidiar as publicações (CORREA *et al.*, 2014; CORREA *et al.*, 2015) que fundamentam e respaldam o eFIRST.

Como estratégia nesse contexto, Bakhouya, Gaber e Lorenz (2011) propuseram o AID (*adaptive Approach for Information Dissemination*), que realiza uma abordagem descentralizada e adaptativa para a disseminação de informação em VANET. Nessa

solução, um nó recolhe informação local coletada dos nós vizinhos. Esta informação inclui a quantidade de nós na vizinhança e a distância entre os mesmos. Cada nó ajusta dinamicamente os valores de parâmetros locais, de acordo com essas informações. Assim, o veículo decide sobre um encaminhamento considerando o número de vezes que recebe esse mesmo conjunto de dados, observado em um intervalo de tempo. Convenientemente, em consequência disso, é possível que diversos veículos resolvam descartar esses dados, uma vez constatado o encaminhamento por outros veículos repetidas vezes. Esse procedimento é oportuno para redes densas e favorece a atenuação do congestionamento das transmissões, o que abranda o problema da tempestade *broadcast*. Apesar disso, no AID permanecem lacunas relacionadas aos problemas de particionamento e fragmentação temporal da rede (VILLAS *et al.*, 2012).

O algoritmo de retransmissão de Bakhouya, Gaber e Lorenz (2011) funciona da seguinte forma: na primeira vez que um nó recebe uma mensagem, os contadores c e s são iniciados. Conforme o tempo passa, o contador t diminui. Se a mensagem for recebida novamente antes que o contador expire, o contador c é incrementado em 1. Depois que o contador t expira, se o contador c for menor ou igual a zero, então a mensagem é retransmitida. Se a mensagem for recebida novamente depois que o contador t expira e o valor limiar (Equação 5.4) for maior que zero, então o contador s é decrementado de 1 e se o valor limiar for menor ou igual a zero, o contador s é incrementado em 1. O tempo inicial é conhecido como t_a , e t_b representa o tempo no qual a mensagem é recebida novamente. O valor limiar referido é expresso na forma:

$$\frac{t}{c - (t_b - t_a)} \quad (5.4)$$

Outra estratégia simples, porém, eficiente para a disseminação de mensagem de alerta de emergência (EWM) na rede é o DBRS (*Distance Based Relay node Selection*), como descrito por Kim *et al.* (2008) (KIM; HONG; KIM, 2007). A proposta utiliza um algoritmo para a seleção do nó de retransmissão baseado na distância. Para Kim *et al.* (2008), o esquema de *broadcast* baseado em distância é um esquema de *broadcast* eficiente, uma vez que admite alterações na topologia da rede e na densidade dos nós. Todos os receptores ao alcance do sinal de rádio de um dado nó que enviou uma mensagem são possíveis candidatos como elemento de retransmissão. O algoritmo determina o tempo de espera mínimo despendido por um nó, antes de enviar a EWM recebida. Esse tempo de espera depende da posição de cada nó em relação ao elemento transmissor de tal forma a favorecer os nós mais distantes nas extremidades de alcance do sinal de rádio. Então, ao receber a mensagem de alerta, o nó mantém a mesma por um intervalo de tempo, que é inversamente proporcional à distância com relação ao elemento transmissor. Desta forma, com menor tempo de espera, os nós mais distantes retransmitem preferencialmente em comparação aos outros. Os demais nós por sua vez,

cancelam as transmissões agendadas para mitigar o problema de congestionamento provocado na tempestade *broadcast*, sem prejuízo à estratégia posto que o elemento selecionado já efetuou essa transmissão. Nesse sentido, em redes de densidade elevada a estratégia é satisfatória. Entretanto, se o nó para retransmissão é selecionado entre os intermediários que não se encontram na extremidade de alcance do sinal, então incide um tempo de espera maior sobre esse elemento. Em consequência, o DBRS é desfavorável para redes de veículos distribuídos esparsamente.

O tempo de espera de um nó intermediário, identificado como RWT_i , é calculado com o auxílio da Equação 5.5:

$$RWT_i = RWT_{max} \cdot \left(1 - \frac{d_i}{R}\right) \quad (5.5)$$

em que d_i representa a distância do nó n_i ao nó que enviou a EWM, RWT_{max} corresponde ao tempo de espera máximo e R equivale ao alcance de cobertura do sinal de rádio do elemento que transmitiu a EWM. Conforme reflete a Equação 5.5, o melhor desempenho é obtido somente quando todos os nós selecionados para retransmissão estão localizados nas fronteiras de cobertura de cada transmissão. Apesar disso, em VANET não há garantia alguma da existência de nós para a retransmissão no raio de alcance da comunicação, o que se reflete em maior atraso. Por sua vez, o cancelamento indiscriminado das retransmissões já agendadas pode resultar em uma cobertura comprometida, então insuficiente para a estratégia.

Na literatura de VANET, para cenários de rodovias há o enfrentamento aos problemas de tempestade *broadcast* e particionamento de rede com o amparo da estratégia DV-CAST (*Distributed Vehicular BroadCAST*), elaborada por Tonguz, Wisitpongphan e Bai (2010) (TONGUZ *et al.*, 2007). Trata-se de um protocolo de *broadcast* veicular *multihop* distribuído para disseminação de dados que admite cenários de regimes extremos de tráfego, tal como tráfego denso e esparso. O DV-CAST assume a ausência de infraestrutura com RSU e se baseia apenas na informação da topologia local, estabelecida com vizinhos de *onehop*. Cada veículo, equipado com GPS e dispositivo *wireless IEEE 802.11a*, atualiza a informação da topologia local por meio do *broadcast* periódico de *beacons* (*hello messages*), com uma frequência padrão de 1Hz.

Três componentes principais constituem a estrutura do DV-CAST: a detecção da vizinhança de *onehop*, a supressão de *broadcast* e, o mecanismo SCF. Estratégias como a técnica de supressão de *broadcast* com *persistência-p* ponderada para coibir o problema de *broadcast storm* em topologia bem conectada (WISITPONGPHAN *et al.*, 2007) e uma abordagem com SCF (CHEN; KUNG; VLAH, 2001) para vizinhança esparsa são associadas na execução do DV-CAST. Esses recursos identificam o tratamento adotado pelo algoritmo para conferir desempenho em condições extremas de rede. Tonguz, Wisitpongphan e Bai (2010) comentam que em rede esparsa, embora um esquema de

persistência-1 intervalado (ou *slotted 1-persistence*) com três intervalos de tempo íntegro o DV-CAST, mecanismos de supressão de *broadcast* não oferecem sustentação para resolver o problema de rede desconectada. Adverso aos resultados, incidindo apenas sobre topologias de rodovias, o desempenho do DV-CAST está fortemente relacionado à frequência de *beacon* em cenários com alta mobilidade. Além disso, a taxa de entrega para cenários de tráfego altamente congestionados tem comportamento frágil no DV-CAST, que também é incerto em situações imprevistas, tais como ultrapassagens ao determinar a densidade do tráfego local atual (MAIA *et al.*, 2012; SCHWARTZ *et al.*, 2011).

Como proposta de melhoria ao DV-CAST, a abordagem SRD (*Simple and Robust Dissemination*) de Schwartz *et al.* (2011) baseia-se exclusivamente em informações de vizinhos de *onehop* local e em comunicação V2V. Da mesma forma que no DV-CAST, a estratégia SRD também assume a indisponibilidade de RSUs como infraestrutura para sustentar a VANET. Trata-se de uma abordagem própria para a disseminação direcional em ambiente de rodovias. Na estratégia, o sentido do movimento é considerado de forma que o mesmo determina e implica em diferentes prioridades de disseminação para os veículos. No SRD, a técnica de supressão de *broadcast slotted 1-persistence* otimizada contribui como protagonista, ao coibir o problema da tempestade *broadcast* em redes densas. Em outra frente, o modelo de comunicação SCF suporta a disseminação de dados para topologias fracamente conectadas, como nas VANETs esparsas formadas por vizinhança de poucos veículos.

Na execução, o SRD classifica os veículos para diferenciar os mesmos em dois estados conforme sua posição, identificados como agrupamento de retaguarda e os demais elementos. A ausência de mensagens de nós mais distante promove a transição de um veículo para a condição de retaguarda. Sem conectividade imediata, veículos no estado de agrupamento de retaguarda armazenam todas as mensagens e se amparam na comunicação SCF para desenvolver a disseminação. Então, esses veículos transmitem a mensagem recebida com o rótulo de retaguarda ativo na mensagem. Os veículos do outro grupo armazenam essas mensagens e retransmitem com o auxílio da técnica *slotted 1-persistence* otimizada, para reduzir transmissões redundantes. Nesse mecanismo, os veículos somente cancelam as retransmissões ao receber um retorno originado por um veículo qualquer mais adiante, no sentido de propagação da mensagem. Desta forma, o SRD responde com menor carga na rede e melhores resultados para a relação de entrega (SCHWARTZ *et al.*, 2011), comparado ao DV-CAST. Além disso, essa abordagem confere maior robustez para tratar com cenários de elevada dinâmica veicular (DUA; KUMAR; BAWA, 2014). Entretanto, a lógica adotada com o SRD conjectura sobre condições que podem não ser completamente realistas, como circunstâncias que não se sustentam ao presumir o mesmo alcance de transmissão para todos os veículos ou então, ao considerar que há sentido definido

previamente para a disseminação da mensagem de interesse.

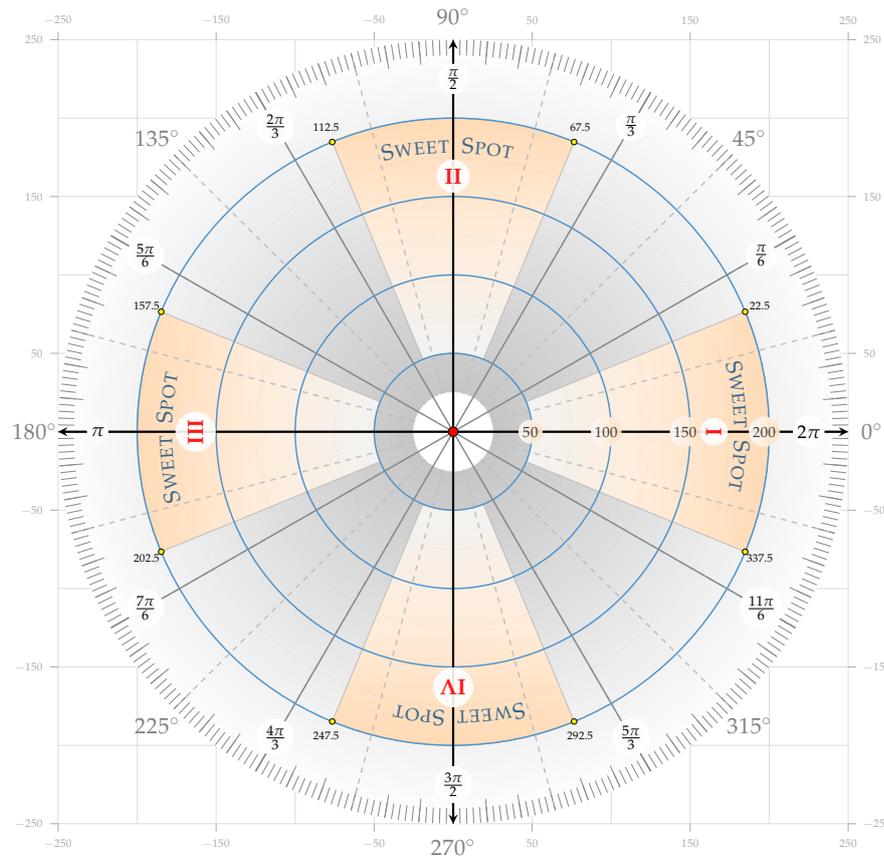
Elaborado por Villas *et al.* (2012), o GEDDAI (*GE*ographical *D*ata *D*issemination for *A*lert *I*nformation) introduz o conceito de uma zona de preferência (ou *sweet spots*) estruturada para a área de disseminação, como ilustrado na proposta da Figura 30, que orienta sobre a cobertura da transmissão de um veículo na posição central. É uma solução abrangente, que clama lidar e atenuar simultaneamente os problemas de *broadcast storm*, partição e fragmentação temporal da rede. A estratégia de favorecer a disseminação por meio dos nós mais distantes em relação ao veículo que transmite um evento, semelhante ao descrito para a proposta DBRS, também integra a lógica de operação da zona de preferência no GEDDAI. A construção desse algoritmo objetiva maximizar a capacidade de realizar a disseminação de dados impulsionando a transmissão sobre toda uma região de relevância (ou ROI), mantendo baixa sobrecarga, baixo atraso, mas ainda assim garantindo alta cobertura.

Ao utilizar o GEDDAI, o nó que detecta um evento inicia a disseminação da informação, a qual deve ser propagada para se alastrar sobre toda a zona de relevância. Nesse processo reativo, as zonas de preferência, que são áreas bem definidas dentro do raio de alcance da transmissão de um nó (Figura 30), recebem atenção especial. Os veículos nessas regiões (*sweet spots*) têm precedência para a continuidade do encaminhamento sobre o restante dos nós, pois representam uma seção mínima de sobreposição da via. Trata-se de uma solução em que não são necessárias tabelas com informações de vizinhança na área de disseminação, o que conseqüentemente resultaria em custo operacional elevado. Os encaminhamentos com menor atraso, provenientes dos veículos nas zonas de preferência, possibilitam o cancelamento dessas mesmas transmissões por parte dos demais veículos. Portanto, conforme Villas *et al.* (2012), o GEDDAI utiliza a zona de preferência para eliminar o problema de *broadcast storm*. Além disso, para cada mensagem recebida, todo veículo verifica se faz parte da zona de relevância e, desta forma, decide se deve descartá-la ou não.

Entretanto, o GEDDAI não trata o problema das redes conectadas intermitentemente com propriedade (MENEGUETTE *et al.*, 2014). O desempenho dessa estratégia para redes de menor densidade e dessa forma, com mais partições, resulta em resposta de cobertura insuficiente.

Para agregar maior cobertura e manter o atraso baixo na disseminação de dados, apesar das flutuações na densidade dos nós que integram a VANET, o ADDHV (*Auto*nomic *D*ata *D*issemination in *H*ighway for *VANETs*) apresentado por Meneguette *et al.* (2014a) (MENEGUETTE *et al.*, 2014a) estende a proposta introduzida com o GEDDAI. Três componentes principais fazem parte dessa implementação: um mecanismo de computação autônoma, a supressão de *broadcast* e também um recurso de SCF. O ADDHV atenua transmissões redundantes desnecessárias e, desta forma, consolida as

Figura 30 – Zonas de preferência para retransmissão



Fonte: Adaptada de Villas *et al.* (2013), Correa *et al.* (2014).

funcionalidades do mecanismo de supressão das zonas de preferência herdadas do GEDDAI. Além disso, faz uso de uma técnica de computação autônoma que calcula uma probabilidade e, por meio deste artifício, insere um gatilho para decidir quando o nó deve ou não disseminar a informação como resposta ao problema do particionamento de rede. Essa decisão se baseia na localização geográfica dos veículos e em um conceito de eficiência individual de propagação (MENEGUETTE *et al.*, 2014b). A eficiência ou probabilidade de encaminhamento é obtida como a relação entre a quantidade de transmissões realizadas por um veículo e a respectiva quantidade de mensagens *beacons* recebidas, como na Equação 5.6:

$$\text{Eficiência} = (\text{Transmissões}_{\text{(realizadas)}}) / (\text{Beacons}_{\text{(recebidos)}}) \quad (5.6)$$

Recalculada periodicamente e respeitando limiares determinados experimentalmente, a eficiência é um fator empírico utilizado para controlar o processo de retransmissão. Assim, um veículo armazena a informação para retransmissão até que sua eficiência seja considerada satisfatória, segundo esses limiares, ou o tempo de vida da mensagem se esgote, respeitando um dos mecanismos que assegura a operação da VANET. No ADDHV, desconexões de rede são detectadas pela ausência de *beacons*, isto

é, um veículo assume uma desconexão da rede sempre que deixar de receber *beacons* dos nós vizinhos. Analogamente, ao perceber um novo *beacon*, o veículo assume que uma nova conexão foi estabelecida.

Por meio de características qualitativas, a Tabela 8 (VILLAS *et al.*, 2014) apresenta uma comparação sumarizada entre as soluções de disseminação de dados para VANET, como complemento para a discussão elaborada nesta seção (Seção 5.3). Critérios como a estratégia no encaminhamento, os objetivos, o ambiente abordado e as suposições adotadas na solução, são utilizados para agrupar os aspectos identificados em cada abordagem.

Tabela 8 – Comparação qualitativa entre estratégias de disseminação de dados

Referência	Estratégia de encaminhamento														
	Objetivos			Ambiente			Hipóteses								
	Baseado na posição	Baseado em estatística	SCF	Baseado na distância	Baseado na topologia local	Baseado em temporizador	Tempestade <i>broadcast</i>	Partição na rede	Fragmentação temporal	Cenários de rodovias	Cenários urbanos	Receptor GPS	Posição dos vizinhos	Inteligência computacional	Estratégia adaptativa
Kim <i>et al.</i> (2008)	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗
Tonguz, Wisitpongphan e Bai (2010)	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
Bakhouya, Gaber e Lorenz (2011)	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓
Schwartz <i>et al.</i> (2011)	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
Villas <i>et al.</i> (2012)	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Meneguette <i>et al.</i> (2014a)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Meneguette <i>et al.</i> (2016)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
Cao <i>et al.</i> (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗
eFIRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Arquitetura de comunicação V2V

As lacunas, circunstanciais ou sem solução consolidada, refletem os desafios que aguardam pela atenção da comunidade acadêmica interessada em comunicação *ad hoc* veicular e são frequentemente problemas apropriados para a geração e/ou inserção de inovações tecnológicas.

ESTRATÉGIA EFIRST

ENTRE outras contribuições, o trabalho elaborado por [Chen *et al.* \(2011\)](#) realiza uma ampla abordagem aos desafios relacionados com a disseminação de dados em VANET. Diversas lacunas identificadas nas considerações de [Chen *et al.* \(2011\)](#) estão associadas à ausência de estratégias adaptativas, apropriadas para detectar e responder com autonomia aos inconstantes fluxos de tráfego de veículos nas vias. Com proposta de análise qualitativa similar, as avaliações desenvolvidas no trabalho de [Dua, Kumar e Bawa \(2014\)](#) são repletas de detalhes. Além disso, um conjunto representativo de abordagens de disseminação dedicados à VANET fazem parte da revisão. Entretanto, novamente as soluções abordadas e discutidas não se favorecem das técnicas de inteligência computacional adequadas, como a lógica *fuzzy* por exemplo, para tratar a incerteza da informação (conforme [Capítulo 4](#)) no âmbito das redes veiculares.

As omissões circunstanciais apuradas neste cenário impulsionam este trabalho de doutorado, em que o principal desafio corresponde ao problema de elaborar uma estratégia autônoma e adaptativa para a disseminação de dados em VANET. Nas estratégias de natureza análoga, diversos são os problemas que impactam a comunicação e a eficiência de cobertura aos veículos que constituem uma ROI, em conformidade ao discutido no [Capítulo 2](#). As condições de tráfego esparso, as regiões de maior densidade veicular como os congestionamentos por exemplo, e ainda, as situações de transição entre essas composições são desafios inerentes em VANET. Além disso, há os outros desafios que permanecem, como os decorrentes da mobilidade, das flutuações no fluxo de tráfego veicular, da instabilidade nas comunicações que se estabelecem por intervalos reduzidos ou de outros inúmeros fatores desfavoráveis ou simplesmente inusitados.

Nesse contexto de complexidade, onde o aspecto vago das informações agrega

conteúdo, sistemas *fuzzy* se distinguem como uma alternativa viável, conforme pode ser observado nos desenvolvimentos de [Bauza, Gozavez e Sanchez-Soriano \(2010\)](#) e [Araujo et al. \(2014\)](#) (Seção 5.2). Em particular, as duas abordagens se assemelham na metodologia utilizada com a mesma proposta para atacar o problema de detectar a situação do tráfego momentâneo e estabelecer níveis de congestionamento, como caracterizado na [Tabela 7](#). Em ambos os trabalhos, os autores se amparam em um sistema *fuzzy* embarcado, que utiliza a informação da velocidade do veículo e dados de densidade local para inferir sobre a situação atual do tráfego veicular e conjecturar uma projeção da extensão do congestionamento. Com certa reserva, [Araujo et al. \(2014\)](#) avançam um pouco mais longe em suas contribuições. Ao utilizar a resposta de congestionamento do procedimento de inferência em conjunto com a geração de alertas sobre a condição atual, introduzem uma política para promover a alteração do itinerário dos veículos. A política de aviso tende a favorecer a dissolução do congestionamento pois auxilia a decisão dos condutores, que podem ou não adotar rotas diferentes quando disponíveis.

Mesmo promissoras, as duas abordagens referidas se limitam ao procedimento de identificação da condição de congestionamento, por meio do sistema *fuzzy* agregado ao veículo, e à subsequente determinação da extensão da situação anormal. Com importância indiscutível, a disseminação da respectiva extensão do congestionamento permite subsidiar ou mesmo induzir as decisões dos condutores. Positivamente, aplicações *ITS* também podem aproveitar de forma conveniente essas informações de congestionamento e o tamanho do mesmo, conforme propósito de projeto. Entretanto, sobre a disseminação e a respectiva propagação de dados em *VANET* por meio de qualquer que seja a estratégia adotada, pesam desafios como os apresentados no início deste capítulo e também os observados na [Subseção 3.2.1](#).

Sob essa perspectiva, o processamento *fuzzy* pode ser de grande utilidade não só como ferramenta para obtenção de registros de monitoramento e suporte ao condutor, mas especialmente em proveito da própria *VANET*. As respostas do sistema *fuzzy* para a situação do tráfego atual detectado resultam em critérios de ajuste, que permitem conferir adaptabilidade às próprias estratégias de disseminação de dados. Desta forma, em tratamento análogo ao realizado por [Meneguette et al. \(2014a\)](#) junto ao desenvolvimento do *ADDHV* (Seção 5.3), que aplica uma técnica de computação autônoma, a condição de tráfego e a intensidade do congestionamento se posicionam como métricas de adequação no processo de disseminação. Com o *ADDHV*, [Meneguette et al. \(2014a\)](#) utilizaram uma aproximação para a relação de eficiência (como descrito pela [Equação 5.6](#)), que ao ser atualizada periodicamente insere um gatilho no intuito de controlar a retransmissão em um procedimento de regulação automática. Assim, cada veículo decide se deve transmitir seus dados ou se deve aguardar, até um momento mais favorável à disseminação.

Conforme a abordagem realizada na Seção 4.2, o sistema de inferência *fuzzy* confere maior flexibilidade e responde com robustez aos desafios de natureza complexa, mesmo com o ruído da incerteza na informação de entrada. Então, este sistema também representa uma aproximação promissora para realizar o ajuste automático e adaptativo na estratégia de disseminação em uso, ou simplesmente para migração entre diferentes estratégias de acordo com seu desempenho sobre as condições observadas. A própria identificação do mecanismo de disseminação, adequado à situação do tráfego atual detectado, pode também ser uma consequência do motor de inferência *fuzzy*.

Em atenção às expectativas apresentadas, que motivam e induzem a realização da análise experimental, um conjunto de *frameworks* pertinentes para simulação (COLE-SANTI; CROCIANI; VITALETTI, 2007; OMNET++, 2018; KRAJZEWICZ *et al.*, 2012; VEINS, 2018; RADA-VILELA, 2018) formam o arcabouço de desenvolvimento. Com esse esteio, toda a atenção converge na direção de agregar melhorias de adaptabilidade, como uma extensão aos procedimentos para disseminação de dados em VANET propostos nos trabalhos de Villas *et al.* (2012), Maia *et al.* (2013) e Meneguetto *et al.* (2014a), entre outras estratégias disponíveis na literatura.

6.1 Método

A extensão da investigação literária sustentada nos capítulos iniciais confere uma composição diversificada de enfrentamentos, explorados com o intuito de identificar os principais progressos e resultados publicados, além de observar a direção em que são conduzidas as intervenções atuais. Ademais, discerne novas lacunas e problemas imaculados até então, ou parcialmente tratados nas situações de rede *ad hoc* móvel que consideram a dinâmica da disseminação de dados em VANET como elemento protagonista. A abrangência desse procedimento tem como consequência a definição dos componentes de desenvolvimento; do *framework* de simulação; modelos de trabalho e estratégias de disseminação convenientes que comportam adequações. Esses são os recursos apropriados para a caracterização e representação dos problemas em VANET e também para a execução controlada das estratégias de disseminação de dados inseridas em cenários adversos. Desta forma, modelos realistas para mobilidade, tráfego de rede e comunicação veicular (OMNET++, 2018; KRAJZEWICZ *et al.*, 2012; VEINS, 2018; SOMMER; GERMAN; DRESSLER, 2011) permitem o desenvolvimento da experimentação simulada, em face da natureza singular do ambiente de VANET.

A realização de um conjunto de avaliações representativas que contenham um número expressivo de elementos, com os nós na composição da rede, os dispositivos de comunicação, os enlaces, uma infraestrutura para validar e verificar o comportamento de uma estratégia de disseminação ou um algoritmo dedicado pode incorrer em custo

proibitivo e ambiente de observação cerceado. Sob essas circunstâncias, os simuladores de rede permitem reduzir o tempo e abrandar os investimentos financeiros para a execução das avaliações. Para [Mallapur e Patil \(2012\)](#), a simulação é um procedimento econômico, que possibilita realizar a experimentação mesmo sem o *hardware* real e oferece um bom compromisso entre complexidade e precisão. As simulações podem ser executadas sobre simuladores de rede implementados em *software*, que são ferramentas valiosas para desenvolver, testar e diagnosticar protocolos de rede.

[Mallapur e Patil \(2012\)](#) também identificam as ferramentas próprias para a tarefa de simulação das redes *ad hoc* móveis e completam com uma análise comparativa acerca do acervo de simuladores. Além disso, o trabalho realizado por [Martinez et al. \(2011\)](#) desenvolve um estudo comparativo dos simuladores de rede que acomodam o ambiente das VANETs. Em associação, essas duas abordagens ([MARTINEZ et al., 2011](#); [MALLAPUR; PATIL, 2012](#)) se complementam com a apresentação das características dos *softwares* de simulação, bem como com a elaboração de discussões e comparações para tratar desse conjunto de propriedades examinadas, que ao final avaliam as vantagens e as desvantagens dos simuladores.

Por fim, a evolução inerente pretendida com os procedimentos de experimentação, que possibilitam a avaliação das adequações ou soluções mais robustas para a disseminação, é adequadamente acomodada no ambiente simulado. As ferramentas de simulação acolhem facilidades auxiliares para identificar e observar as condições de falha ou inconsistência. Além disso, tais ferramentas habilitam agregar recursos externos, produzir relatórios e intervir sobre os algoritmos nas estratégias de disseminação de dados ou na comunicação dos sistemas em VANET com desembaraço maior que o procedimento real. Portanto, mesmo que singulares, os cenários de avaliação executados em ambiente de simulação permitem reproduzir as experimentações e proporcionam condições para registrar as estatísticas das repetições que asseguram o confronto com as respostas dos modelos na literatura.

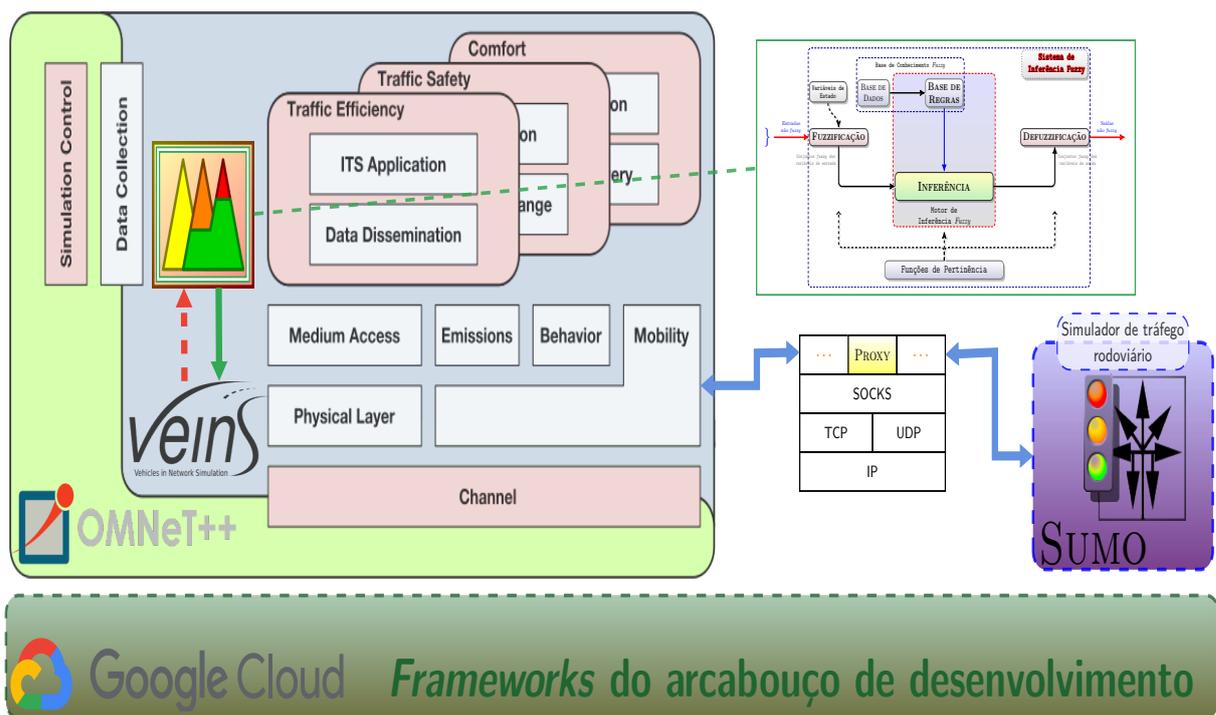
6.1.1 Avaliação

A ordem de grandeza dos investimentos que são de cunho financeiro, implicados na realização de um enfrentamento experimental prático, com o propósito de explorar a infraestrutura de comunicação e os cenários heterogêneos pretendidos, inviabiliza por completo qualquer iniciativa. Além desse aspecto, é indispensável ponderar sobre a necessidade imprescindível de assegurar a reprodução e repetição do ambiente de avaliação, assim como das próprias condições de operação envolvidas na formação das VANETs.

Justifica-se, desta forma, o escopo de experimentação reduzido às simulações. Assim, o processo de desenvolvimento consiste na utilização de um conjunto de

ferramentas, identificadas por meio da associação de componentes na **Figura 31**, como plataforma de simulação. A arquitetura formada por esses elementos (*softwares*) é apropriada para a representação dos cenários em discussão e também para reproduzir todas as condições do ambiente de **VANET**. Estas condições são pertinentes para o registro das informações de respostas e para a geração dos resultados em relatórios de avaliação ou comparação.

Figura 31 – Arquitetura de interfaceamento para as ferramentas do arcabouço de simulação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com esse compromisso, o ambiente de simulação de eventos discretos **OMNeT++**¹ (**VARGA; HORNIG, 2008**) é adequado para auxiliar nas referidas tarefas. Esse ambiente é descrito como uma arquitetura genérica e flexível, voltada principalmente para a simulação de redes de comunicação. Embora não seja ele mesmo um simulador de rede, sua pluralidade como plataforma de simulação de redes junto a comunidade científica é evidente (**OMNET++, 2018; COLESANTI; CROCIANI; VITALETTI, 2007; MAIA et al., 2013; ARAUJO et al., 2014**), observado o amparo à academia. O **OMNeT++** fornece uma arquitetura de componentes² para modelos, que são escritos em linguagem de programação C++. Uma outra linguagem de alto nível proporciona a harmonização dos mesmos para integração em componentes e modelos maiores ou que implicam maior complexidade.

¹ **OMNeT++** - <https://omnetpp.org/> (acesso em: novembro de 2018)

² Também tratados como módulos.

Uma ampla variedade de *frameworks* complementares são agregados de forma colaborativa ao *OMNeT++* para torná-lo operacional e conferir produtividade extensiva. Para sustentar e viabilizar os longos períodos³ ininterruptos das avaliações, todo o acabamento de desenvolvimento executa sobre a *Google Cloud Platform*. O *SUMO* (*Simulation of Urban MObility*)⁴, amplamente subsidiado pela comunidade acadêmica (CHAN; SIM; LEE, 2007; BEHRISCH *et al.*, 2011; ERDMANN, 2014; PROCEEDINGS... , 2017), é um pacote⁵ para a simulação de tráfego rodoviário contínuo e microscópico, projetado para lidar com malhas rodoviárias de grande porte. No *SUMO*, cada veículo é modelado explicitamente e se move individualmente aproveitando da capacidade de decisão sobre a mudança de pista. Além disso, cada veículo tem o seu próprio trajeto, desenvolvido de forma independente ao longo da malha viária. Ademais, o *SUMO* permite simular como uma determinada demanda de tráfego, que consiste de um só veículo, se move regrado pelo confinamento estabelecido com a obrigatoriedade de um determinado conjunto de vias de circulação (KRAJZEWICZ *et al.*, 2012).

Para completar essa arquitetura o *Veins* (*Vehicles in Network Simulation*)⁶ (SOMMER; GERMAN; DRESSLER, 2011), que como intermediário, instaura a tecnologia para comunicação bidirecional adequada entre o simulador de rede e o simulador de tráfego e mobilidade, então conecta o *SUMO* ao *OMNeT++* conforme ilustra a Figura 32, que se beneficia de um intermediário na comunicação, o *proxy* de conexão. O *Veins* (POPESCU *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2017) é um *framework* de simulação híbrido para sustentar a comunicação V2V (ou IVC) e é composto pela integração ao simulador de rede baseado em eventos (*OMNeT++*) e pelo modelo de micro simulação de tráfego rodoviário (*SUMO*). Também, inclui um conjunto abrangente de modelos para proporcionar simulações de redes veiculares tão realistas quanto possível, sem sacrificar a velocidade (SOMMER *et al.*, 2008), além de ser o responsável por prover a tecnologia em padrão IEEE 802.11p necessária à comunicação *ad hoc*.

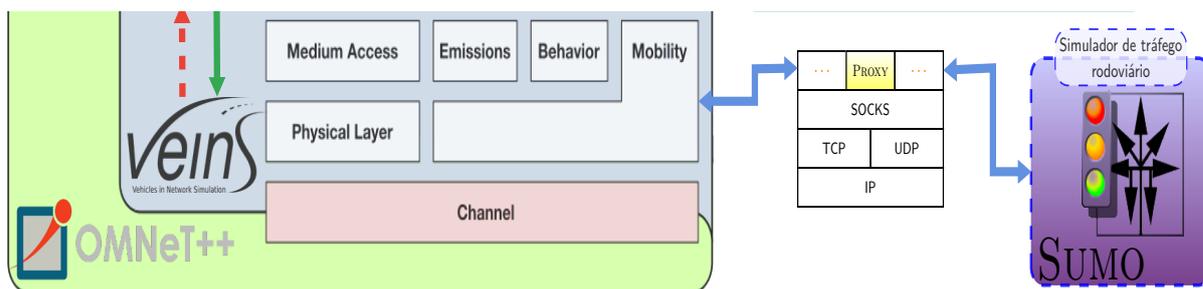
O modelo de mobilidade implementado, que define todos os movimentos dos nós, influencia a evolução das simulações expressivamente (SOMMER; DRESSLER, 2008). Portanto, a utilização de um modelo de mobilidade realista é indispensável para a produção de resultados representativos. A simulação de todo tráfego veicular em trajeto urbano e rodoviário se respalda nos modelos provisionados e empregados pelo *SUMO*, que é um *framework* bem estabelecido no domínio da engenharia de tráfego. Já a simulação de rede tem seu desenvolvimento acomodado no ambiente oferecido pelo *OMNeT++*, juntamente com o conjunto de ferramentas de tecnologia nativa para

³ Até, aproximadamente, dois meses para os maiores conjuntos de veículos em trajeto urbano.

⁴ *SUMO* - <https://www.dlr.de> (acesso em: novembro de 2018)

⁵ Projeto do *Institute of Transportation Systems*, o *SUMO* é um simulador de tráfego microscópico de código aberto e portátil (KRAJZEWICZ *et al.*, 2002; KRAJZEWICZ *et al.*, 2012).

⁶ *Veins* - <https://veins.car2x.org/> (acesso em: novembro de 2018)

Figura 32 – *Framework Veins* para intermediar a comunicação bidirecional *OMNeT++* e *SUMO*

Fonte: Elaborada pelo autor.

modelagem da camada física⁷. Desta maneira, esse arcabouço possibilita empregar paradigmas precisos para a comunicação embarcada nos nós, pois disponibiliza modelos para interferência de rádio, bem como para sombreamento por obstáculos estáticos e em movimento, integrados aos cenários.

Por último, mas não menos importante, a biblioteca *FuzzyLite*⁸ (*The FuzzyLite Libraries for Fuzzy Logic Control*) é usada para controle com lógica *fuzzy*, conforme a proposta apresentada por Rada-Vilela (2018). Trata-se de um agregado de códigos multiplataforma programados em linguagem C++ que permitem o desenvolvimento avançado de um sistema *fuzzy* completo. Para conferir versatilidade, a biblioteca *FuzzyLite* disponibiliza interfaces para todos os componentes da implementação baseada em lógica *fuzzy*, como discutido com mais propriedade na Seção 4.2. Por conveniência e para portabilidade, essa biblioteca suporta a descrição do modelo do sistema e das regras de lógica por meio de diversas linguagens específicas para esse domínio, como por exemplo FIS (*Fuzzy Inference System*) (o Apêndice B permite a caracterização dessa linguagem) e FCL (*Fuzzy Control Language*). Assim, o mecanismo de inferência com lógica *fuzzy*, codificado em C++, pode ser separado da modelagem e configuração do sistema, representados em linguagem específica para atender as características relacionadas à lógica *fuzzy* (RADA-VILELA, 2013; ARAUJO *et al.*, 2014).

Todo esse aparato permite aproximar o ambiente e a operação das redes *ad hoc* veiculares, com a comunicação e as flutuações características do tráfego observado sobre a malha viária. Ademais, é esse mesmo aparato que possibilita examinar as complexas interações entre os diferentes domínios, que incluem a mobilidade veicular, a comunicação em rede e os sistemas *fuzzy*, frente ao contexto de adversidades no modelo de simulação.

⁷ Em conformidade ao originalmente estabelecido por meio do projeto *MiXiM* (MIXIM, 2018).

⁸ *FuzzyLite* - <https://www.fuzzylite.com> (acesso em: novembro de 2018)

6.1.2 Limitações

A utilização de recursos como a simulação, para tratar as redes veiculares *ad hoc* sem fio, restringe a expressividade do ambiente experimental ao número de variáveis representadas do modelo real. A agregação dos diferentes acervos de ferramentas para compor os sistemas descritos e todas as suas características, por si só, influencia na implementação das soluções candidatas. Essa influência é certa, uma vez que aumenta a complexidade do conjunto de dados manipulados e dificulta a observação das particularidades originadas com a avaliação em profundidade de um número elevado de parâmetros.

Em outra direção, os riscos de operação e o tempo de experimentação são reduzidos de forma substancial, a reprodução é facilitada e é possível registrar um grande volume de indicadores. Então, os esforços são orientados aos desenvolvimentos de inteligência nas estratégias e são necessários aos sistemas computacionais de resposta para os problemas com a vizinhança local e com a disseminação de dados.

6.2 Avaliação de Desempenho

Entre outras disposições, esta articulação é conduzida no sentido de prover resposta a pelo menos um dos enfrentamentos listados no trabalho de [Chen et al. \(2011\)](#). Na abordagem utilizada, além de advertir sobre a necessidade de conciliar propriedades de segurança⁹ às transmissões, condição que segundo [Garfinkel, Spafford e Schwartz \(2003\)](#) é atendida somente com o tratamento em camadas, os autores também evidenciam outros anseios e lacunas de pesquisa. Após reunir informações sobre os desafios para a disseminação de dados em VANET, por meio das considerações finais [Chen et al. \(2011\)](#) demonstram, entre outras, preocupação com a escassez e a carência por técnicas de disseminação flexíveis, adaptativas à transição entre redes densas e esparsas.

Neste contexto, a intervenção sobre a arquitetura para VANET se acomoda especificamente junto aos algoritmos nas estratégias responsáveis pelos procedimentos de disseminação de dados, e por esta perspectiva, a seção atual descreve a metodologia adotada na elaboração das avaliações realizadas com a solução *fuzzy eFIRST* proposta para adaptação, o arcabouço de desenvolvimento e operação, as ferramentas e condições de tráfego. Além disso, para conferir maior sustentação, também são apresentados e discutidos os resultados registrados com as diversas simulações realizadas.

⁹ Como por exemplo privacidade, autenticidade, integridade e confidencialidade.

6.2.1 Metodologia

A Seção 6.1 introduz o conjunto de associações entre os *frameworks* que formam o arcabouço de avaliação. Especificamente, as variações de execução da estratégia *fuzzy eFIRST* exploradas foram implementadas sobre o simulador de rede OMNeT++ 5.0 (*core, without IDE*). Como aliado agregador, o *framework* de rede Veins 4.5 é o componente responsável por disponibilizar os recursos da arquitetura de comunicação bidirecional e a tecnologia no padrão IEEE 802.11p (LAN/MAN STANDARDS COMMITTEE, 2010), embarcada em todo nó que integra a VANET. Para assegurar um modelo de mobilidade (ou de tráfego) realista, fundamental para resultados precisos nas avaliações dos algoritmos de disseminação de dados, adotou-se o SUMO 0.28.0 como ferramenta para subsidiar a disponibilidade dos diversos tráfegos nos cenários de simulação e para providenciar a mobilidade veicular regrada aos referidos ambientes.

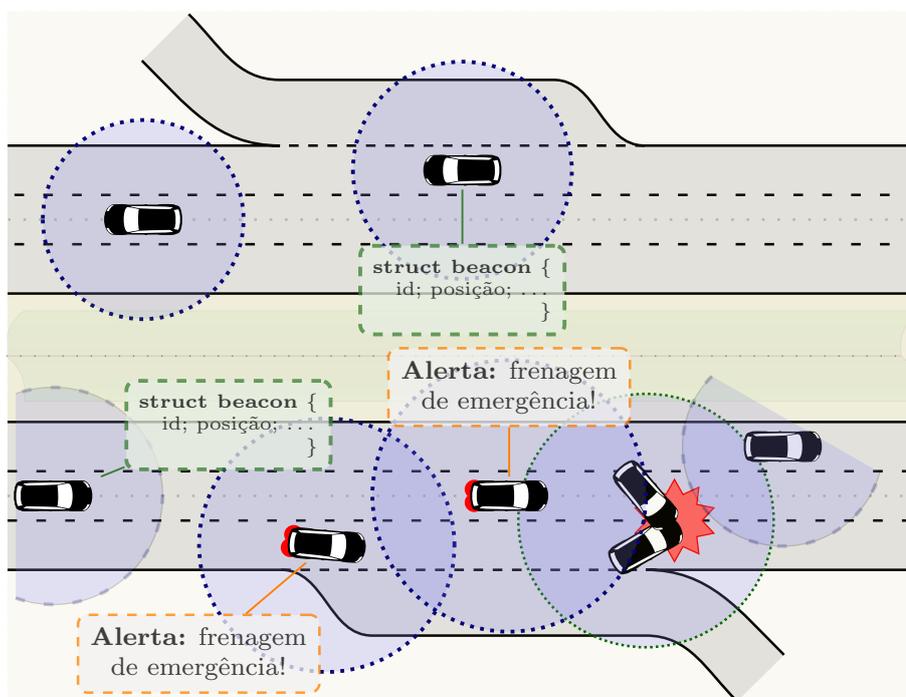
Em adesão às necessidades, para completar o instrumental e amparar as operações direcionadas ao tratamento da incerteza, aproveitam-se os benefícios da portabilidade, compatibilidade e dinâmica da biblioteca *FuzzyLite 6.0*, que admite a integração ao conjunto de linguagens de codificação do ambiente de simulação e disponibiliza interfaces para a implementação de todos os componentes de um sistema baseado em lógica *fuzzy*, como oportunamente discutido na Seção 4.2 (RADA-VILELA, 2013). Para a execução dos experimentos e para proceder com as avaliações da heurística elaborada sobre uma amostra normal, foram realizadas não menos que 33 repetições de cada simulação de forma que, cada um dos pontos representados nos gráficos provisionados na Subseção 6.2.4 corresponde ao valor médio dessas repetições, preservado o nível de confiança de 95%.

Para uma circunstância inicial, a Figura 33 retrata um corte no trecho de um cenário de rodovia com cerca de 6 quilômetros de extensão, desprovido de qualquer cobertura de comunicação para infraestrutura (V2I), conforme considerado na execução das respectivas avaliações abordadas na Subseção 6.2.4. A fração das vias ilustrada nesta figura (Figura 33) corresponde à configuração da região utilizada para providenciar um incidente entre os veículos, responsável pela subsequente indução da situação de congestionamento. A rodovia de pista própria múltipla contempla três faixas de rolamento em duas direções opostas, transposição habilitada entre faixas e barreira física central. Os limites de velocidade estabelecidos são particulares para cada faixa, com restrições de 80, 100 e 120 *km/h* regulamentadas da extremidade lateral, mais lenta, ao centro, com maior desembaraço. Em razão desta característica singular, a composição do fluxo de veículos que é inserido na simulação, para conferir a mobilidade, satisfaz três agrupamentos com arranjos tipificados pelas dimensões aceleração/desaceleração e limiar de velocidade, mas que admitem a inserção de um mesmo elemento em arranjos distintos, conforme segue:

- veículos leves (regulados para até 120 *km/h*): automóvel de passeio, caminhonete, *Sport Utility Vehicle (SUV)*;
- veículos intermediários (regulados para até 100 *km/h*): caminhonete, SUV e micro-ônibus;
- veículos pesados (regulados para alcançar até 80 *km/h*): micro-ônibus, ônibus, caminhão;

Efetivo ao refletir condições realistas com pequenas não-homogeneidades seguindo o *Highway Capacity Manual (HCM)* (CAPACITY, 1950), todas as simulações acomodam um fluxo de densidade regular para o período de observação e respeitam as orientações estabelecidas para cada pista. Desta forma, a faixa central que tolera velocidades de até 120 *km/h* opera, preferencialmente, com os veículos menores, pois estes alcançam as maiores velocidades. A execução das avaliações é guiada de forma a explorar pontualmente seis condições de tráfego distintas nesse segmento de rodovia, com densidades que variam de 500 até 4000 veículos por hora (especificamente: 500, 1000, 1500, 2000, 3000 e 4000 veículos/h)¹⁰.

Figura 33 – Veículos que se aproximam do local do acidente recebem alerta de emergência por meio de comunicação V2V para evadir da situação de congestionamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

¹⁰ Experimentações com densidades veiculares maiores comprometeram a execução das simulações e se mostraram operacionalmente inviáveis.

A composição do tráfego gerado é fracionada em 70 % de veículos leves descritos com $\approx 4.5 m$ de comprimento, 15 % de veículos intermediários com comprimento estimado em $\approx 14 m$ e o restante caracteriza tráfego pesado ($\approx 18.15 m$). Os agrupamentos, assim constituídos, são instanciados inicialmente nas extremidades opostas das respectivas faixas. Entretanto, os veículos se valem de configuração que confere isenção de restrições para qualquer transposição interna à pista, necessária na evolução da própria trajetória.

Para assegurar regime nas condições de tráfego em estado estável, com aferições livres de interferências, os registros que correspondem aos 10 segundos iniciais são desprezados (*warm up*) do intervalo de condução de cada simulação, sem detrimento ao período de 280 segundos (Tabela 9) considerado, que é suficiente para avaliar o procedimento de transmissão durante a execução da estratégia de disseminação da mensagem de alerta. Então, uma vez alcançada a variação adequada na densidade e na velocidade dos nós, aos 80 segundos em relação ao seu próprio tempo de partida, um incidente é induzido por um determinado veículo, conforme se identifica na Tabela 10, para as diversas composições de tráfego. O episódio incita a produção de uma única mensagem de alerta originada no primeiro veículo envolvido na eventualidade. Esta circunstância é que promoverá o comprometimento de pelo menos uma faixa de rolamento da rodovia. Como consequência dessa interrupção, um congestionamento se instaura na região do evento inesperado.

Os condutores que se aproximam da área da intervenção (Figura 33) são notificados com o alerta disseminado por meio de comunicação *multihop*. A mensagem a ser propagada carregará a informação com a identificação da faixa interditada, que caracteriza uma ocorrência na via, particularmente, o acidente preparado para o caso investigado nesta abordagem. Então, atentando para o tempo de vida limítrofe da advertência, a tarefa se resume em entregar a informação de assistência para o maior número alcançável de veículos que aderem a rota da colisão, com o propósito de conferir ao condutor condições suficientes para contornar a intercorrência da qual o mesmo se aproxima.

Utilizados para definir propriedades de operação que repercutem nas simulações, os atributos relevantes e seus respectivos valores, como abstraídos da agregação de experimentos realizados em momentos anteriores e harmonizados ao referenciado com os trabalhos do Apêndice A, figuram sumarizados na Tabela 9. Nesta tabela, identificam-se os mais relevantes parâmetros de configuração da componente *Veins*, que implementa a tecnologia de comunicação. Estes atributos descrevem a taxa de bits (em *Mbps*) na camada *MAC*, a potência máxima disponível para transmissão (em *mW*) e, por consequência, o respectivo alcance aproximado de comunicação (886.6 m)

¹¹ Sommer, Joerer e Dressler

Tabela 9 – Parâmetros de simulação para a configuração de rodovia

Parâmetros	Valores
Número de veículos	500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 veículos/h
Segmento de rodovia	≈ 6.25 km
Modelo de interferência	<i>Two-Ray Path Loss Models</i> ¹¹
Potência de transmissão (max.)	20 mW (alcance de até ≈ 886 m)
Gatilho da mensagem de alerta	80 s (relativo ao tempo de partida)
Intervalo de simulação	280 s
Tempo de vida (TTL)	40 s
Taxa de bits	6 Mbit/s
Frequência de <i>beacon</i>	1 Hz
<i>Warm up</i>	10 s
Número de repetições	33
Intervalo de confiança	95 %

Fonte: Elaborada pelo autor.

quando submetido ao ruído oriundo do *Two-Ray Interference Model* (SOMMER; JOERER; DRESSLER, 2012), entre outras definições.

Tabela 10 – Momento do acidente para cada tráfego observado

Condições de tráfego (veículos/h)	Momento do acidente/alerta
500	158 s
1000	127 s
1500	116 s
2000	112 s
3000	106 s
4000	103 s

Fonte: Elaborada pelo autor.

Inferir congestionamento é um procedimento desafiador (CAPACITY, 1950), posto que envolve conclusão sobre informação parcial ou qualitativa, como a exemplo, rede esparsa por baixa densidade veicular. Então, a incerteza e a imprecisão inerentes respaldam a eleição de um sistema de decisão baseado em lógica *fuzzy* para o tratamento dos indícios que identificam os níveis de congestionamento de tráfego, em alusão ao apresentado por Binglei, Zheng e Hongwei (2008) e Bauza, Gozalvez e Sanchez-Soriano (2010). Tais avaliações, sob o amparo dos mesmos fundamentos, também atacam o problema com o acolhimento da teoria de Zadeh (1999). Como no Capítulo 4, proeminentes em qualquer sistema de tomada de decisão assentado à lógica *fuzzy*, as variáveis de estado se sustentam nos conjuntos *fuzzy*, usualmente absorvendo sobre-

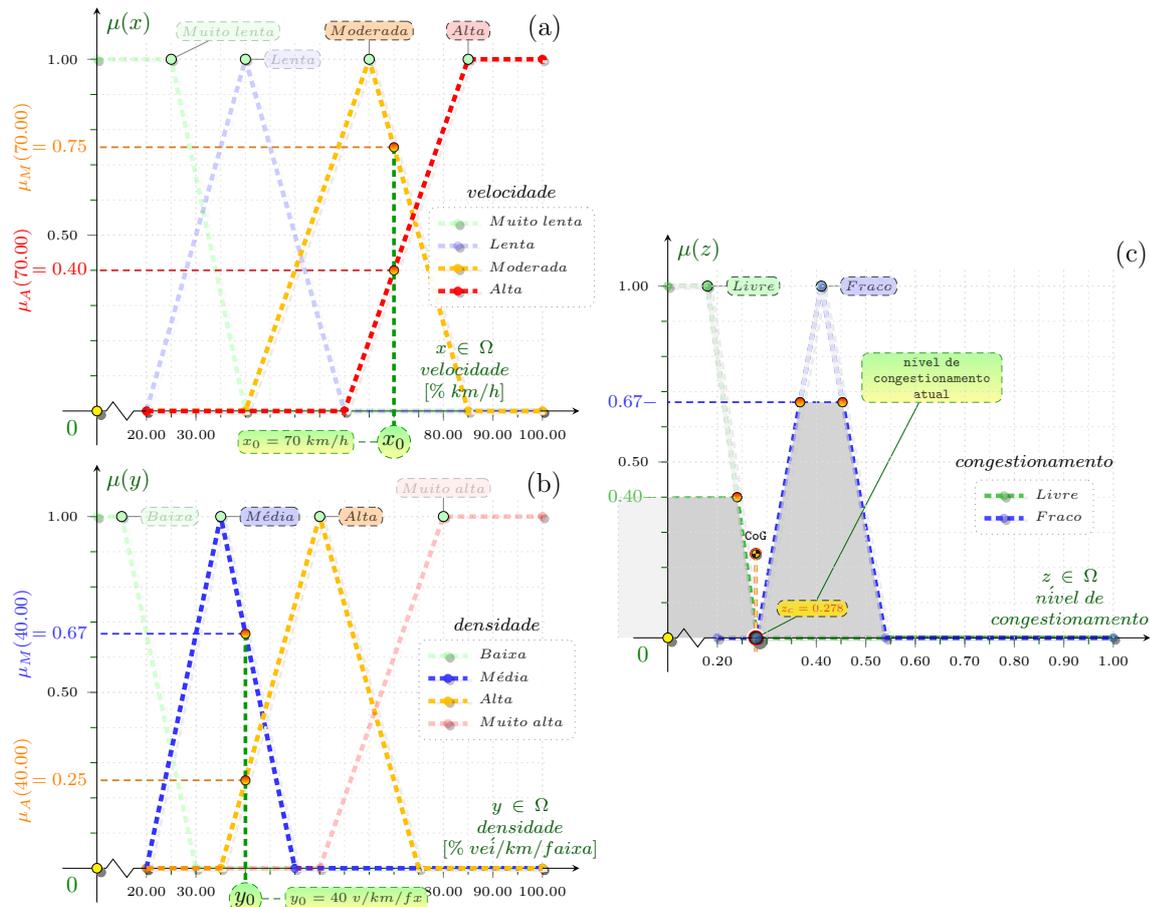
posição que segmentam um domínio em intervalos de valores (análogo ao exemplo da Figura 19). Esses conjuntos, os *termos linguísticos*, apresentados em associação na Figura 34, se estendem sobre as entradas velocidade e densidade observadas e , de forma similar, também retratam o conseqüente nível de congestionamento promovido (em conformidade com as disposições do HCM).

Por esta perspectiva, o sistema *fuzzy* embarcado se ocupa de evoluir as instâncias de entrada admitidas em um instante qualquer, na Figura 34(a,b) percebidas como x_0 e y_0 , que permitem alçar o correspondente grau de conformidade (μ) em reciprocidade a um dado conjunto. A pertinência verificada dessa forma entre os referidos fatos e as cláusulas nas premissas das regras sintetizadas na Tabela 6¹², convenientemente representadas como *termos linguísticos* na Figura 34, convergem para uma resposta de compatibilidade global da premissa de cada regra. A ação de resposta na conclusão de cada regra é implicada em harmonia à respectiva pertinência resultante dessa convergência. Finalmente, com o intento de extrair o valor de resposta ponderado pelo sistema *fuzzy*, a Equação 4.10 é aplicada sobre o agregado dos conjuntos concebidos como conclusão nas regras disparadas com as entradas avaliadas.

Sem ferir relações ou os limites estabelecidos para a rodovia, a observação da velocidade não encontra obstáculo. Com consistência resguardada, a informação é nativa ao arcabouço de simulação, por isso é de acesso imediato, uma vez que deriva do próprio modelo de veículo adotado provisionado com GPS. Em contraposição, a caracterização da densidade de veículos na vizinhança resulta de apuração indireta. A extensão dessa medida é proporcionada por meio de estimativa que toma como base a contagem dos *beacons* recebidos, acomodando, portanto, relação imediata com o alcance de comunicação (V2V). A identificação da origem, retida em cada mensagem de *beacon*, providencia uma aproximação da quantidade de veículos que se acumulam em uma mesma área de cobertura. Desta forma, o próprio veículo atualiza sua particular dinâmica de densidade em um intervalo de tempo, acompanhada com a avaliação individual do número de vizinhos que ocupam as adjacências da trajetória atual em relação a capacidade da pista.

A abordagem clássica retratada em Zadeh (1965), Mamdani (1977), Wang e Mendel (1992) é suficiente para conferir os ajustes e a adaptação pretendida ao sistema *fuzzy* incorporado, com respeito às variações oriundas do contexto de inserção de cada veículo. Por cautela, uma composição conservadora para modelar o conseqüente das regras estrutura a orientação de *congestionamento* para o intervalo $[0, 1]$ por meio dos termos linguísticos *livre*, *fraco*, *moderado* e *severo*, como refletido na Figura 20 com as funções de pertinência (conjuntos *fuzzy*), que na estratégia eFIRST abrangem por

¹² A Tabela 6 não informa a base de regras utilizada com o eFIRST em sua completude. Conseqüentemente, a Figura 34 que deriva desta tabela retrata somente um fragmento do referido sistema.

Figura 34 – Procedimento de inferência no sistema *fuzzy* de detecção de congestionamento

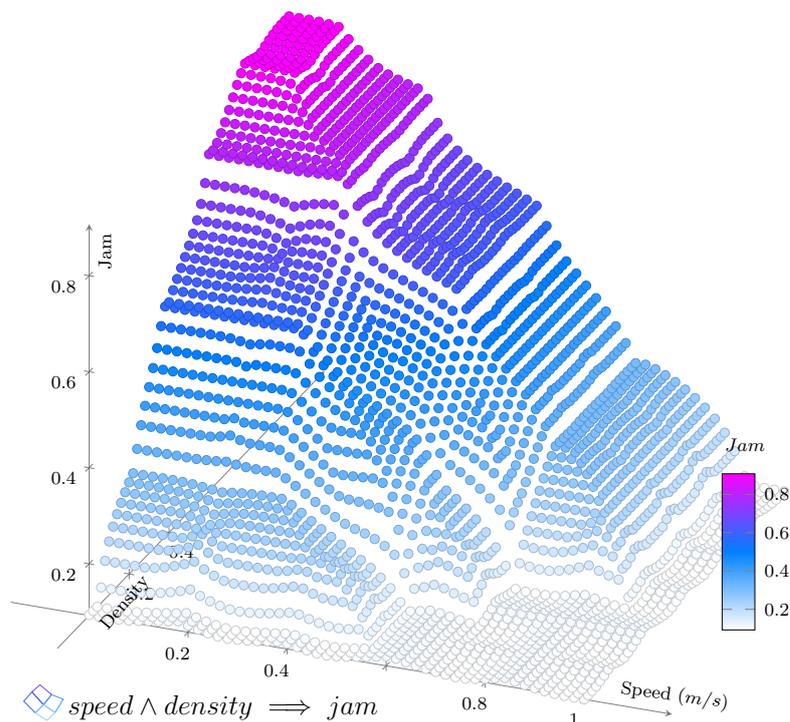
Fonte: Elaborada pelo autor.

completo a base de regras de inferência. Então, o sistema *fuzzy* embarcado no veículo se beneficia da integralidade dessas regras (do tipo *if/then*), das quais as premissas compreendem as proposições *fuzzy* que tratam as entradas *velocidade* e *densidade* veicular estimada, já descritas similarmente e que se associam em concordância no mapeamento das respostas articuladas na superfície da Figura 35, incitada por uma base de regras estendida. A interpretação atrelada às posições de congestionamento no âmbito dessa superfície exterioriza, por exemplo, situações de *velocidade alta*¹³ com *densidade baixa* implicando tráfego *livre* (rede esparsa) ou, em circunstâncias contrárias, muitos veículos vizinhos no mesmo trecho de localização (*densidade muito alta*) e *velocidade* reduzida, o que identifica um momento de congestionamento *severo*.

Todo o empenho tácito nesta avaliação converge na direção de proporcionar uma estratégia consistente para disseminar uma mensagem com alerta de segurança, detectar a ordem do congestionamento e mesmo, produzir ações para atenuar ou evitar os transtornos desencadeados com essa eventualidade. Por ocasião da disseminação

¹³ Considerando-se, para esta afirmação, a relação entre a velocidade instantânea atual observada e o limite de velocidade imposto para a pista.

Figura 35 – Superfície de mapeamento do congestionamento com eFIRST

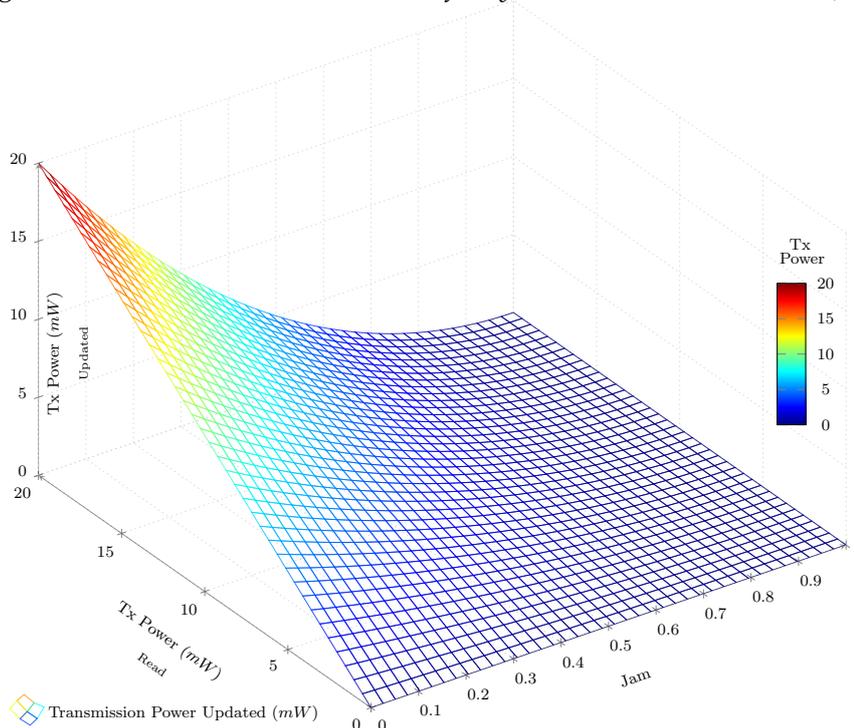


Fonte: Elaborada pelo autor.

do alerta, a severidade do congestionamento averbada no tratamento *fuzzy* é aproveitada de forma conveniente, para condicionar a potência do sinal de transmissão na comunicação V2V, a exemplo da composição amparada pela Figura 36.

As condições do tráfego local preconizadas conferem informação sobre o adensamento de veículos nas adjacências. A constatação de uma vizinhança esparsa induz um maior investimento na potência de transmissão, em conformidade ao reportado na malha da Figura 36, com a pretensão de sustentar o alcance e a continuidade da disseminação. De forma análoga, nas situações próximas à exaustão da capacidade da rodovia, é pertinente cercear moderadamente a potência do sinal na propagação do alerta para instigar que a comunicação V2V alcance somente regiões reduzidas, como parte da estratégia eFIRST. A contenção do sinal é ressarcida com a administração de precedência às retransmissões, evitando comprometer o canal de comunicação ou fragilizar a disseminação, e ainda, no intuito de abrandar as colisões de dados.

Para orientar a cobertura do sinal de transmissão, considerando um veículo acomodado ao centro do plano de coordenadas da Figura 37, a configuração de interesse providenciada pelos quatro segmentos em evidência estabelece os limites oportunos de precedência para a condução e continuidade do encaminhamento. Com a utilização de uma estrutura otimizada de construção das regiões de *sweet spots*, abordadas anteriormente no Capítulo 5, são favorecidos os encaminhamentos de menor atraso e que simultaneamente satisfazem a condição de posição que excede 60 % da distância

Figura 36 – Potência de transmissão *fuzzy* calculada com o eFIRST (mW)

Fonte: Elaborada pelo autor.

de cobertura com relação à origem do sinal. A adoção deste procedimento habilita o cancelamento das transmissões idênticas por parte dos veículos da vizinhança e estreita a seleção dos veículos elegíveis sem prejuízo à qualidade ou mesmo à área de disseminação pretendida.

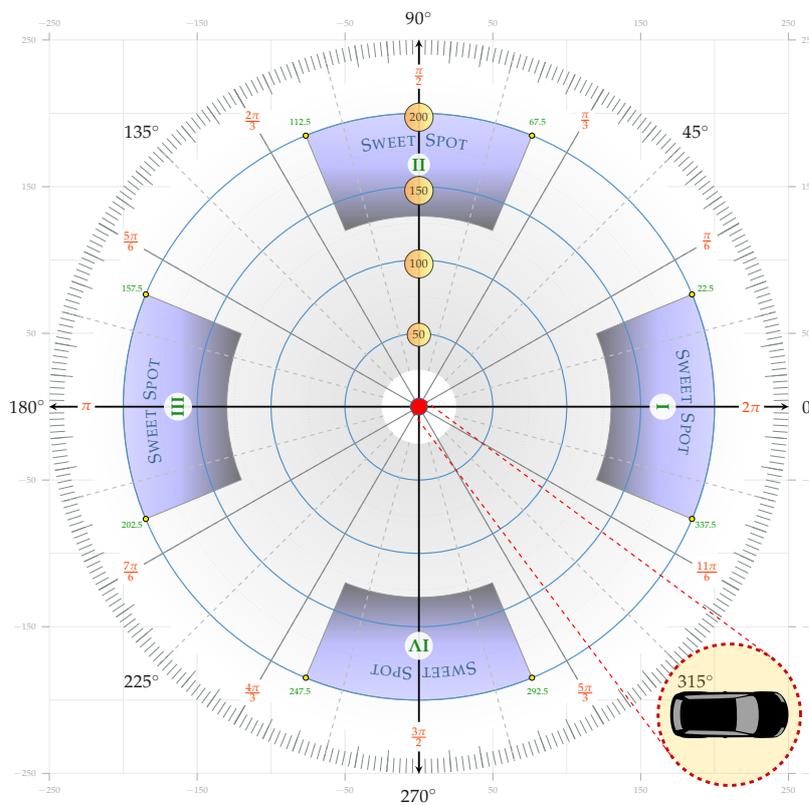
Respeitando os respectivos limites ($[0, 20]mW$) e proporcionalmente ao valor máximo admitido para a potência do sinal de transmissão, a Figura 36 traduz o comportamento de adaptação da potência como uma função do complemento do congestionamento detectado na inferência *fuzzy*. A construção do correspondente domínio segue o que se formaliza na Equação 6.1, a qual permite aferir os maiores valores da potência de transmissão associados ao tráfego de menor densidade:

$$TxPower_{updated} = Power_{max} \cdot (1.0 - Jam_{fuzzy})^2, \quad (6.1)$$

$$\forall Jam_{fuzzy} \in [0, 1]$$

assim, na Equação 6.1, a componente identificada na forma $Power_{max}$ reproduz o limite superior para a potência do sinal de transmissão como parâmetro de operação e, Jam_{fuzzy} consiste na resposta discreta obtida para o nível de congestionamento, mapeada para o intervalo $[0, 1]$.

As aproximações representadas com a codificação estruturada por meio do Algoritmo 10 e do Algoritmo 11 na Subseção 6.2.2 proporcionam uma abstração para

Figura 37 – *Sweet spots* otimizados para qualidade na precedência de retransmissão

Fonte: Elaborada pelo autor.

a implementação da estratégia de obtenção dos níveis de congestionamento e da subsequente atualização na potência do sinal de transmissão, com a quantificação implícita natural da Equação 6.1.

6.2.2 Algoritmos para a Detecção do Congestionamento e Adequação da Transmissão

O esteio da estratégia adotada harmoniza a aptidão de adaptação às condições de tráfego, conferida aos veículos com a solução *fuzzy* embarcada (o eFIRST), que por sua vez se beneficia da comunicação V2V e das considerações consolidadas em Correa *et al.* (2014), Correa *et al.* (2015). Os recursos de detecção dos níveis de congestionamento local no segmento de condução atual e a subsequente adequação da potência do sinal de transmissão como uma função deste elemento estão previstos em todos os veículos e são aproveitados de forma periódica. O acolhimento deste procedimento assegura a possibilidade de refletir informações instantâneas, com a situação atualizada, sobre o estado momentâneo da via de condução para os veículos da vizinhança. Esta também é uma forma de regular e resguardar cooperativamente qualquer inferência inconsistente

ou precipitada, assim estimulando uma convergência coesa e confiável para a resposta das condições de tráfego.

Cada veículo recolhe um conjunto de valores locais para propriedades como a direção, coordenadas de localização, velocidade e outras características para a condição do tráfego no segmento do traçado atual observado (rodovia ou via urbana). Quando não obsoletas, as informações relacionadas com outros segmentos também são encaminhadas, já que o conhecimento precedente constituído em função de processamento anterior, caso disponível, agrega ao veículo a capacidade de estabelecer a localização e o nível de congestionamento de outras porções do itinerário que fazem parte da rota até seu destino. A operação de concepção dos *beacons* de controle, seguida da solicitação para que a arquitetura de comunicação providencie a transmissão dos mesmos por meio da rede estão condensadas no [Algoritmo 9](#).

Algoritmo 9 - Identificação da estrutura e método de envio dos *beacons*

```
1: // New control beacon
2: if (status == NULL) then
3:     new status ← createStatus();
4: end
5:
6: // Updates vehicle information
7: status.direction ← setDirection();
8: status.roadId ← setCurrentRoadId();
9: status.speed ← setSpeed();
10: status.coord ← setCoord();
11: status.update ← setUpdateMsg();
12: status.time ← setTimestamp();
13:
14: // Taking the current vehicle status
15: new msgBeacon ← createMsg(status);
16: beacon ← setEncapsulate(msgBeacon);
17:
18: // Beacon sending
19: sendMsg(beacon);
20:
21: return(status);
```

No sistema *fuzzy* da estratégia *eFIRST* com conteúdo preservado, os *beacons* identificados individualmente na recepção são contabilizados para subsidiar a determinação da densidade veicular, que é utilizada como uma das entradas. O mecanismo para inferir sobre os níveis de congestionamento local está reproduzido no [Algoritmo 10](#), que com as regras apropriadas ao domínio do problema, trata tanto as variáveis na entrada como também as variáveis *fuzzy* na saída, por meio das funções de pertinência. A condição de tráfego, associada com as funções de pertinência acionadas no

consequente de cada regra avaliada, envolve o processamento da Equação 4.10 para completar o procedimento de defuzzificação. A propagação dos *beacons* assegura a disseminação da informação sobre o nível de congestionamento para as coordenadas atuais do veículo e rotas das proximidades, mas tende a gerar sobrecarga na rede incorrendo no problema das tempestades de *broadcast* (*broadcast storm*) (VILLAS *et al.*, 2012). Ainda assim, também providencia a antecipação de outros segmentos de condução com tráfego saturado na experiência de navegação do condutor.

Algoritmo 10 - Classificação do nível de congestionamento local

```

1: // Thresholds
2:  $T_1 \leftarrow \approx 0.28$ ; // First congestion interval
3:  $T_2 \leftarrow \approx 0.54$ ; // Second congestion interval
4:  $T_3 \leftarrow \approx 0.8$ ; // Third congestion interval
5: // Updates the neighborhood records
6: updateNeighbors  $\leftarrow$  getNeighborhood();
7:
8: // Fuzzy inference system
9: currentSpeed  $\leftarrow$  getSpeed();
10: currentDensity  $\leftarrow$  getDensity(updateNeighbors);
11:
12: // Fuzzification of inputs
13: fzSpeed  $\leftarrow$  fuzzification(currentSpeed);
14: fzDensity  $\leftarrow$  fuzzification(currentDensity);
15:
16: // In: membership functions
17: foreach membershipFuncIn[i]  $\in$  getRuleWith(fzSpeed, fzDensity) do
18:     // Fuzzy inference engine with set of rules
19:     membershipFuncOut[i]  $\leftarrow$  fuzzyInference(membershipFuncIn[i]);
20: done
21:
22: // Out: membership functions
23: foreach fzOut[i]  $\in$  membershipFuncOut() do
24:     // Defuzzification with Equação 4.10
25:     fzTraffic  $\leftarrow$  defuzzification(fzOut[i]);
26: done
27:
28: // Tests for the fragmentation of congestion conditions
29: if (fzTraffic  $\leq T_1$ ) then
30:     congestion  $\leftarrow$  setFreeLevel(fzTraffic);
31: else
32:     if (fzTraffic  $\leq T_2$ ) then
33:         congestion  $\leftarrow$  setWeakLevel(fzTraffic);
34:     else
35:         if (fzTraffic  $\leq T_3$ ) then
36:             congestion  $\leftarrow$  setModerateLevel(fzTraffic);
37:         else
38:             congestion  $\leftarrow$  setSevereLevel(fzTraffic);
39:     end
40: return(congestion);

```

A disseminação dos dados pleiteada por um veículo em particular, instigado em um evento qualquer, também se sustenta na autonomia inerente à estratégia *fuzzy* do eFIRST. Apurada a incidência de informação relevante para disseminação, a propagação de uma mensagem assegura a distribuição do referido conteúdo aos veículos na localização geográfica percebida como uma região de interesse (ou ROI)¹⁴.

Ao receber a mensagem, que concomitantemente catalisa a Equação 6.1 praticada no início do Algoritmo 11, as coordenadas da posição atual são examinadas para certificar que o veículo integra a ROI (Algoritmo 12). Na situação positiva, essas coordenadas são avaliadas em relação à distância para a origem da disseminação (Algoritmo 11), em atenção ao observado na Figura 37. Somente ao atender essa condição, ocorre o agendamento da retransmissão da mensagem já atualizada, acatando o nível de congestionamento observado no mesmo momento. De outra forma, uma vez processada, a mensagem é simplesmente descartada, idêntico ao procedimento adotado quando da confirmação de informação duplicada. No Algoritmo 11, o nível de congestionamento vigente orienta a atualização da potência utilizada com o sinal de transmissão no veículo e também determina o tempo de retardo para inserir no agendamento da retransmissão. Este é o artifício responsável por regular os elementos (veículos) ativos na estratégia de disseminação dos dados, no sentido de conter e atenuar o problema das eventuais tempestades de *broadcast* (VILLAS *et al.*, 2014; CORREA *et al.*, 2014; CORREA *et al.*, 2015).

Algoritmo 11 - Cálculo do coeficiente de tempo para postergar uma retransmissão com base no nível de congestionamento

```

1: // Delay coefficient
2:  $K_d \leftarrow \approx 0.001$ ;
3:
4: // Transmission power update
5: txPower  $\leftarrow$  setUpdateTxPower(congestion); // See: Equação 6.1
6:
7: // Take the current position from the GPS and then
8: distFromSrc  $\leftarrow$  getDist( $\sqrt{(snd_x + rcd_x)^2 + (snd_y + rcd_y)^2 \dots}$ );
9:
10: // Components of the delay
11: // Regular delay
12: stdDelay  $\leftarrow$   $\frac{distFromSrc}{getTxRangeRadius(txPower)}$ ;
13:
14: // Checks whether the current position is part of a sweet spot
15: if (positionOnSweetSpot() == true) then
16:     stdDelay *=  $K_d$ ;
17: else
18:     stdDelay *= ( $K_d * 1000$ ); // Disadvantaged

```

¹⁴ Region of Interest (ROI)

```

19: end
20:
21: // Adjusting the delay
22: fzDelay ← setDelayFor(congestion);
23:
24: // Time to schedule the next transmission
25: delay ← stdDelay + fzDelay;
26: return(delay);

```

O atributo de regulação sinalizado como *TTL* na *linha 13* do *Algoritmo 12*, que define a disponibilidade ou mais especificamente, o tempo de vida (TTL) de uma determinada mensagem, baliza a capacidade que os veículos dispõem para lidar com as inconveniências da rede esparsa. A observação da escassez de *beacons* na recepção evidencia os indícios que induzem concluir sobre a fragmentação momentânea da rede na região associada com a posição atual ocupada pelo nó. Em postura defensiva à situação, os veículos se utilizam do modelo de comunicação *store-carry-forward*, cerceado pelo *TTL*, para mitigar os efeitos dessa fragmentação. Por efeito decorrente, o veículo transporta o conteúdo de interesse confinado na mensagem, e esse armazenamento persiste consistente por um período que corresponde ao restante do *TTL* definido antecipadamente, alcançando outras regiões do traçado, seja rodovia ou urbano, em diferentes condições de tráfego.

Algoritmo 12 - Mecanismo de armazenamento e transporte (SCF)

```

1: // Accounts for the beacons
2: beaconCnt = 0;
3:
4: // Processing of received beacons
5: while (true) do
6:     newBeacon ← getBeaconMsg(beacon);
7:     msgBeacon ← setDecapsulate(newBeacon);
8:     beaconCnt++;
9: end
10:
11: // Evaluate current position
12: if (isInsideRoI(msgBeacon.getDistFromSrc())) then
13:     if ((check(ttl, msgBeacon.getTimestamp())) > 0) and
14:         (getHops(msgBeacon) < Threshold) then
15:         sendBeaconEvt ← setUpdateMsg(msgBeacon);
16:         scheduleAt(interval.beacon(), sendMsg(sendBeaconEvt));
17:     else
18:         // Discards obsolete beacons
19:         cancelAndDelete(msgBeacon);
20:     end
21: end

```

Outra componente de implementação, o **Algoritmo 13**, dispensa atenção maior com a frustração decorrente da situação de tráfego comprometido em função da incidência de um evento inusitado, como por exemplo, um acidente rodoviário (ou urbano) entre veículos. As linhas iniciais, que correspondem ao intervalo entre a *linha 1* e a *linha 10* no **Algoritmo 13**, esboçam o conjunto de ações desencadeadas com a recepção de um *beacon* qualquer e que, mais adiante, culminam no mecanismo de chaveamento de rotas. As aferições instantâneas para o tráfego, no trecho de rodovia das coordenadas de posicionamento atuais, são confrontadas com o contexto recolhido das mensagens de *beacon*. A identificação da fragilização associada ao nível de congestionamento, registrada como carga útil do *beacon*, condizente com condições severas de tráfego em algum segmento da trajetória do veículo, habilita a atualização de uma rota estabelecida em momento anterior. Todo trecho de traçado rotulado pela degradação do tráfego contrai penalização, refletida em custo equivalente a um intervalo de tempo proibitivo, maior que o período de simulação. Desta forma, estes segmentos de itinerário tornam-se inviáveis como percurso eletivo para o condutor, e por prática de contorno, o veículo verifica atualizações no estado dos segmentos próximos e inicia a seleção de trajetos alternativos para o mesmo destino, mas com custo admissível.

Algoritmo 13 – Método de recepção de *beacon*

```

1: // Reception of information beacon
2: forall (receivedMsg(beacon)) do
3:   if (newBeacon ← getBeaconMsg(beacon)) ≠ NULL) then
4:     msgBeacon ← getDecapsulatePkg(newBeacon);
5:     // Create new message with incoming information
6:     new src ← createMsg(msgBeacon);
7:
8:     src.roadId ← getCurrentRoadId(msgBeacon);
9:     src.coord ← getCoord(msgBeacon);
10:   end
11: done
12:
13: // Current position
14: coord ← getCurrentCoord();
15: roadId ← getCurrentRoadId(coord);
16:
17: // Edge id to avoid
18: roadIdToAvoid ← getCongestedRoad(src.coord, src.roadId);
19:
20: // Signs of congestion
21: if (roadIdToAvoid ≥ getModerateLevel(congestion)) then
22:   // Travel time to assume
23:   setRoadId.timetotrip(roadIdToAvoid, ∞);
24:   warnTripEdges ← getPlannedRoadIds(roadId, roadIdToAvoid);
25:
26:   // Incident alert on the road

```

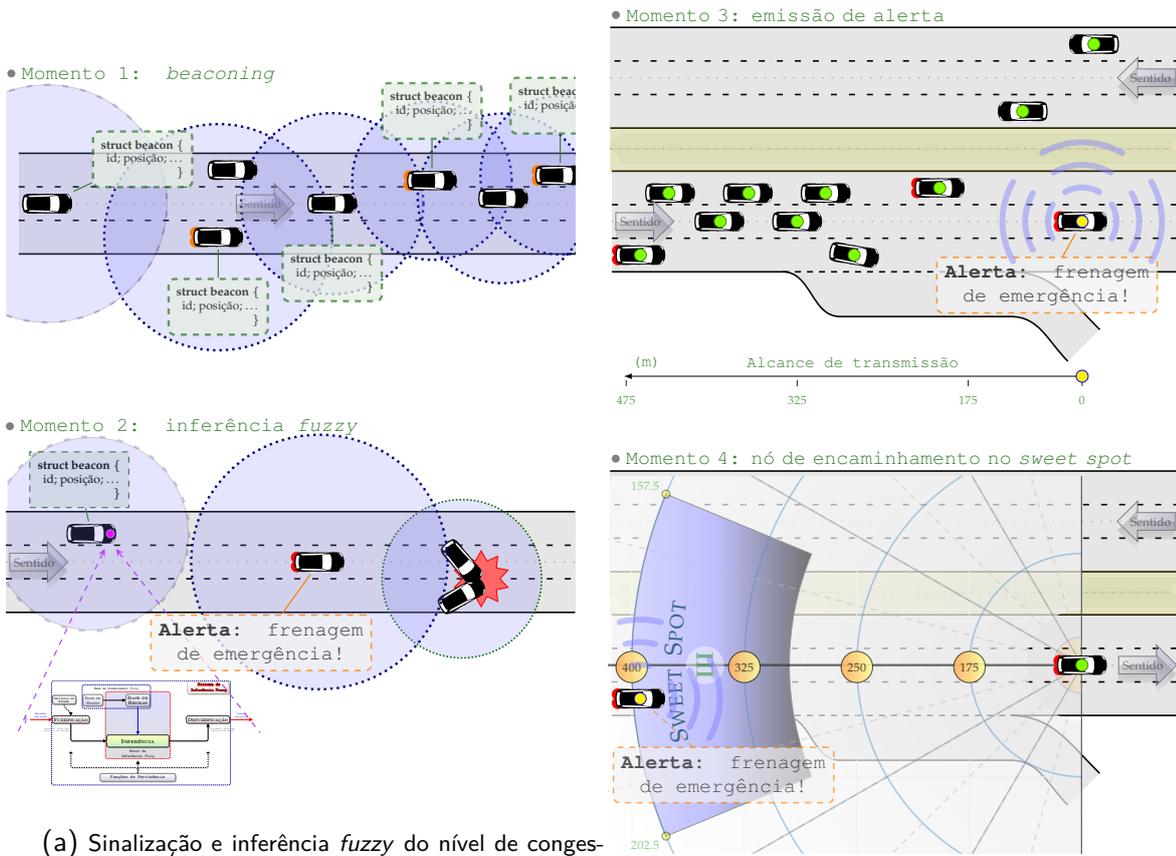
```
27:   if (warnTripEdges == true) then
28:       // Search alternative itinerary
29:       newTripEdges ← searchRouteId(coord, prune(roadIdToAvoid));
30:       newRoute ← setShortestPath(newTripEdges);
31:       // Proposes alternative route
32:       setChangeRoute(newRoute);
33:   end
34: end
```

Com a conveniência de uma abstração menos restritiva para representação, a estratégia *eFIRST* se desenvolve em conformidade aos eventos fracionados sucintamente nos cinco momentos da Figura 38. Os segmentos de rodovia, particularizados por faixa simples estruturada em três pistas na Figura 38(a), respeitam a orientação do tráfego em sentido da esquerda para direita, com veículos distribuídos casualmente em formação receptiva às interações de sinalização nativa para promover o compartilhamento de informações e os subsequentes ajustes na potência do sinal. Nas demais frações de rodovia, todas de pista múltipla com três faixas de rolamento em cada um dos sentidos desassociados por canteiro central, o tráfego obedece a regulação de orientação conforme indicam as setas de sentido utilizadas sobre a Figura 38(b) e a Figura 38(c).

A sinalização, para o compartilhamento colaborativo dos identificadores na vizinhança local, é promovida periodicamente na expectativa de agregar informações de contexto do tráfego na região, conforme ilustra o momento 1 na Figura 38(a), e que remete ao procedimento descrito com o Algoritmo 9. Neste esteio, as informações de consenso sobre a condição de tráfego instantâneo para a região observada se sustentam atualizadas. Individualmente embarcado em cada veículo, um motor de inferência *fuzzy* recebe as leituras da velocidade veicular e se beneficia da densidade local, estimada por meio da sinalização periódica, como entradas na interface de ativação das regras. *Fuzzificadas*, essas variáveis alimentam o sistema e estimulam o procedimento de inferência para, na saída da interface de *defuzzificação*, produzir uma resposta proporcional ao nível de congestionamento verificado. Todo o conjunto das possíveis conclusões implicadas com a execução do motor *fuzzy*, provisionadas na superfície da Figura 35, disciplinam a adequação na intensidade da potência do sinal de transmissão para regular a emissão de uma mensagem de alerta, como ocorre no momento 2 da Figura 38(a) com o incidente colimado.

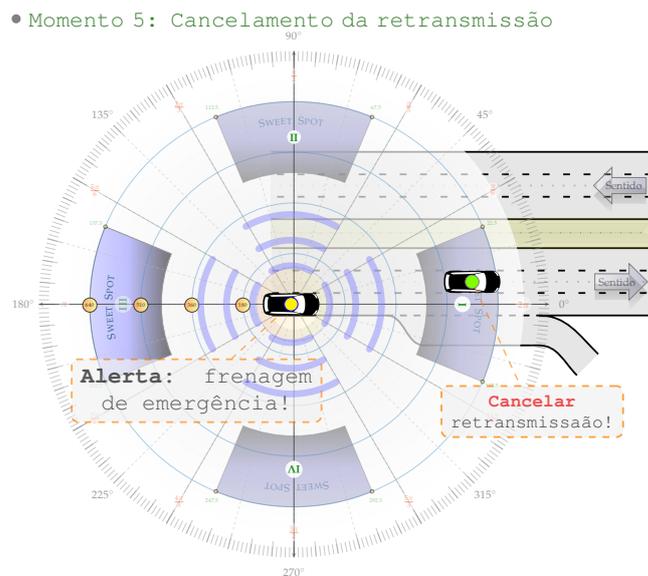
Com a singular eventualidade da colisão, que compromete as trajetórias veiculares, a iniciativa de um único veículo é suficiente para desencadear a estratégia de disseminação do alerta. Deste modo, em potência de transmissão já regulada para as condições de tráfego no segmento de condução, um nó qualquer ciente da intercorrência dispara a mensagem contextualizada de precaução para a vizinhança local, em consonância ao representado com o momento 3 da Figura 38(b). Nesta situação, todos

Figura 38 – Estratégia eFIRST fracionada em etapas



(a) Sinalização e inferência fuzzy do nível de congestionamento

(b) Emissão de mensagem de alerta e determinação do nó ótimo de encaminhamento



(c) Cancelamento do agendamento de retransmissão

Fonte: Elaborada pelo autor.

os veículos que integram a região de alcance do sinal registram a comunicação da iminente adversidade. Quando viável, o condutor considera as oportunas alternativas para evadir da possível condição de congestionamento.

Para a continuidade da disseminação, a evolução natural da estratégia eFIRST impõe a identificação de um elemento ótimo, entre os nós provisionados com a transmissão inicial, para promover o subsequente encaminhamento da mensagem. A utilização das áreas de *sweet spots*, caracterizadas na Figura 37 e estabelecidas de forma adaptativa ao ajuste aplicado sobre a potência do sinal, permitem favorecer a direção e sentido de maior interesse para a propagação preferencial, em conformidade ao momento 4 na Figura 38(b). A formação de cada um dos *sweet spots* circunscreve o perímetro que se estende aos 40%¹⁵ da região de cobertura mais distantes, em relação ao raio de alcance de uma transmissão. Essas fronteiras de favorecimento são determinadas dinamicamente, repercutindo a dependência direta ao congestionamento identificado. Então, a extensão dinâmica de um *sweet spot* se ampara como uma consequência imediata natural, posto que se trata da atuação da mesma métrica de regulação da potência de transmissão.

Sem transgredir o atributo de TTL definido na composição da mensagem, com a finalidade de disponibilizar a advertência para o maior número possível de condutores, e conseqüentemente atenuar a potencial aglomeração nas proximidades da obstrução, a estratégia beneficia com menor atraso para agendamento da retransmissão atribuído aos nós no interior dos *sweet spots*. Tanto maior é o benefício quanto melhor posicionados, nas extremidades mais afastadas, em relação ao veículo que originalmente enviou o alerta. Portanto, o atraso para encaminhamento é inversamente proporcional à distância ao emissor anterior.

Uma vez sob o raio de alcance do sinal, em harmonia com a necessidade de controle e contenção aos *broadcasts* recursivos, para qualquer situação de redundância são processados todos os cancelamentos por parte dos demais veículos já advertidos¹⁶, aproximando ao que se descreve com a alusão do momento 5 na Figura 38(c). Nesta tarefa de cancelamento, para exercer o controle dos encaminhamentos sobre os veículos já notificados, a estrutura que transporta a mensagem de alerta se individualiza com o auxílio de um atributo de identificação para cada eventualidade. Então, a observação de uma sobreposição da advertência, por meio de um alerta com identificador repetido, desencadeia o cancelamento da retransmissão agendada no recebimento anterior. Integrado à estratégia eFIRST, esse mecanismo de descarte automático é disparado sempre que outro veículo, em posição mais favorável, se manifeste realizando esta retransmissão.

¹⁵ Porcentagem aproximada.

¹⁶ Nós que registraram a mensagem de alerta por meio da transmissão precedente.

A avaliação exploratória, conduzida no decorrer da experimentação, está consideravelmente ancorada no acolhimento e acompanhamento das métricas brevemente descritas na [Subseção 6.2.3](#), mas respaldadas com maior propriedade nos desenvolvimentos do [Apêndice A](#) que a antecede.

6.2.3 Métricas de Avaliação

Os traçados dos cenários considerados para avaliação, em conformidade com a estratégia *fuzzy eFIRST* já evidenciada, se submetem ao retratado por meio da observação das métricas de resposta para o processo de disseminação de dados, como as que seguem:

- **Colisões:** mede o número de colisões registradas durante a disseminação de dados e impactam sobre o canal de comunicação de forma degenerativa. Tem relação direta com a degradação da rede;
- **Atraso:** valores reduzidos para essa métrica são, principalmente, almejados na disseminação de alertas de segurança. Corresponde ao tempo médio necessário para que a mensagem alcance todos os veículos na ROI, medido a partir do veículo que originou a mensagem;
- **Cobertura:** é uma razão que corresponde ao número de veículos que efetivamente recebem os dados de uma transmissão durante a disseminação, em relação ao número total de veículos na zona de relevância (ROI). Há a expectativa de que soluções confiáveis de disseminação de dados alcancem, aproximadamente, 100% de cobertura dos veículos nessa região de interesse;
- **Total de transmissões:** é a quantidade total de mensagens de dados transmitidas no interior da ROI, proporcionada pela soma das transmissões realizadas por cada veículo durante a disseminação. Essa métrica está associada ao problema *broadcast storm*, pois valores elevados constituem fortes indícios de transmissões redundantes;
- **Distância de propagação da mensagem:** a distância média máxima alcançada pelos dados disseminados em relação aos extremos da ROI, a partir do veículo de origem. Soluções confiáveis de disseminação de dados comprometem-se com distâncias de propagação das mensagens, aproximadamente equivalentes ao tamanho da ROI.

A [Subseção 6.2.4](#) apresenta algumas das curvas de resposta traçadas sob o esteio da estratégia *fuzzy eFIRST*, que se utiliza de informação incerta para agregar adaptação

à detecção das condições de congestionamento na trajetória veicular desenvolvida nos cenários de averiguação.

6.2.4 Curvas de Resultados das Avaliações

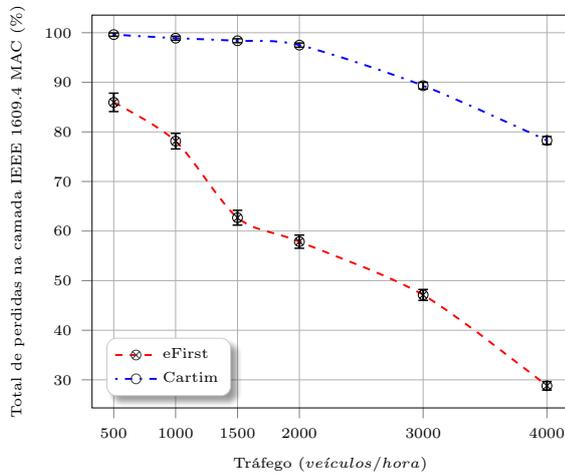
Esta subseção concentra as discussões dos resultados da abordagem *fuzzy eFIRST* para ensaios em trajetória de rodovia e em traçado urbano, apresentados como curvas de respostas para as métricas acompanhadas no processo de disseminação dos dados de alerta para incidente.

6.2.4.1 Traçado de rodovia

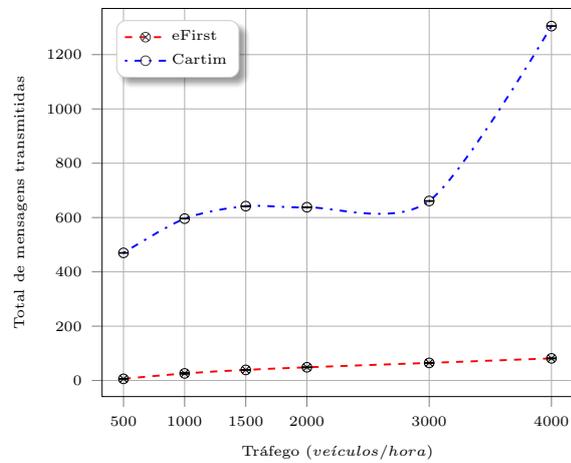
No primeiro contexto, um incidente entre veículos, definido (Tabela 10) de forma a comprometer o tráfego livre em uma das direções no traçado de rodovia, gera a demanda para a distribuição de uma mensagem de alerta sobre esse evento à vizinhança veicular local. Alheia a essa perturbação, a quantidade de veículos produzida e acomodada ao eixo das abscissas (como na Figura 39, por exemplo), que estabelece o regime de tráfego, obedece uma distribuição normal ao longo do período de simulação. A estratégia *fuzzy* adaptativa *eFIRST* executa com a razoabilidade e o respaldo das observações incitadas em trabalhos convergentes (MENEQUETTE *et al.*, 2014a; CORREA *et al.*, 2015; MENEQUETTE *et al.*, 2016). Nessa condução, a identificação das respostas de comportamento na avaliação da estratégia *eFIRST* em traçado de rodovia acomoda a disseminação de uma mensagem de alerta para a contenção da situação de congestionamento. Desse modo, as curvas proporcionadas por essa abordagem recorrem ao confronto direto com a estratégia análoga *CARTIM* (ARAUJO *et al.*, 2014), para a qual são impostas condições de operação idênticas nas simulações.

A caracterização do movimento, entre as condições de tráfego esparso até condições de tráfego denso na rodovia, recebe a consolidação da Figura 39. As curvas que representam a porcentagem de perdas relacionadas com a camada IEEE 1609.4 MAC (Figura 39(a)), a quantidade de retransmissões da mensagem de alerta da Figura 39(b) e, reciprocamente, como apresentado na Figura 39(c), o número de mensagens com o alerta de acidente recebidas respaldam um comportamento de disseminação mais robusto com a intensificação da vizinhança, em conformidade com as expectativas de concepção do *eFIRST*. As tendências registradas nos gráficos agrupados pela Figura 39 resumem a propagação nos diferentes momentos de formação das redes *ad hoc*, desde o estabelecimento insuficiente dos enlaces de comunicação no regime inicial, com aproximadamente 500 veículos distribuídos no período de uma hora, e as respectivas consequências, até uma situação mais confortável para fazer perseverar a disseminação do alerta, com a imposição de maiores intensidades de tráfego. Embora distanciados,

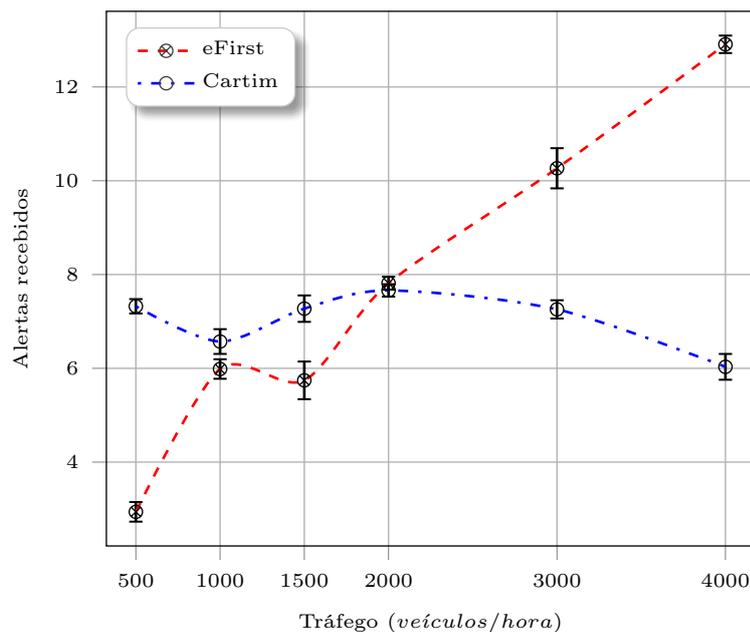
Figura 39 – Rodovia - (a) Pacotes perdidos na camada IEEE 1609.4 MAC, (b) quantidade total de mensagens de alerta transmitidas e (c) número médio de alertas recebidos por veículo de interesse



(a) Perdas registradas na rodovia



(b) Alertas retransmitidos na rodovia



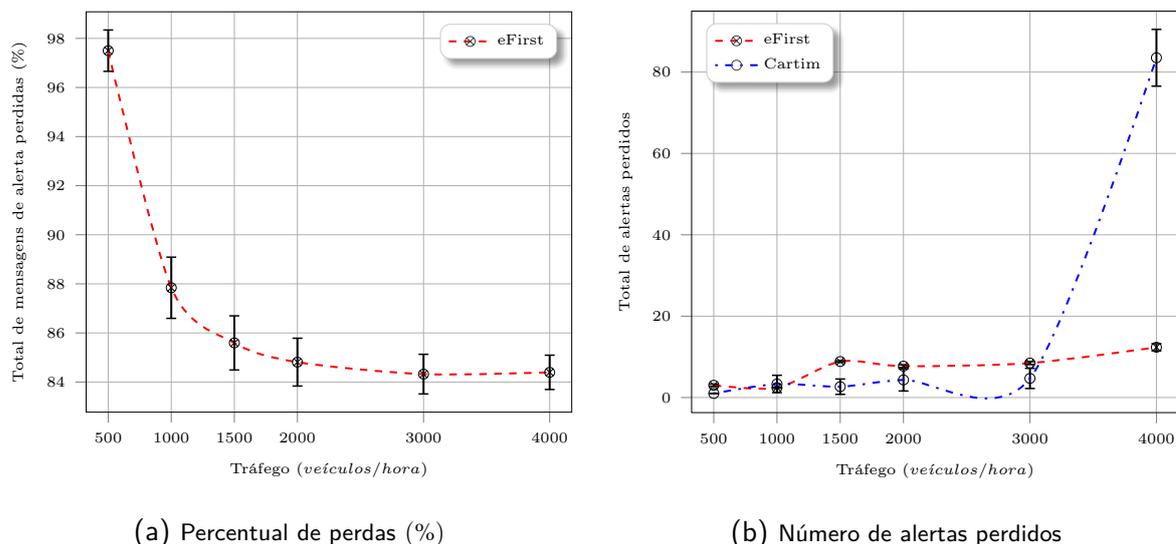
(c) Alertas recebidos na rodovia

Fonte: Dados da pesquisa.

na Figura 39(a) o perfil levantado para a execução com eFIRST segue em tendência similar ao CARTIM, avaliação na qual ambos custeiam maior degradação com tráfego escasso. Entretanto, desfavoravelmente, a operação de disseminação com CARTIM na Figura 39(b) implica a retransmissão de um número de mensagens em ordem de grandeza bem superior ao reportado pela estratégia eFIRST. Uma região de equilíbrio para as duas estratégias pode ser identificada com tráfego de 2000 veículos na Figura 39(c),

segmentando o desempenho das mesmas de modo que, em conformidade com essa métrica, a formação de rede esparsa é oportuna para o enfrentamento com o CARTIM e na situação oposta, o eFIRST responde com mais propriedade.

Figura 40 – Rodovia - (a) Percentual de mensagens de alerta perdidas, (b) número absoluto de alertas perdidos



(a) Percentual de perdas (%)

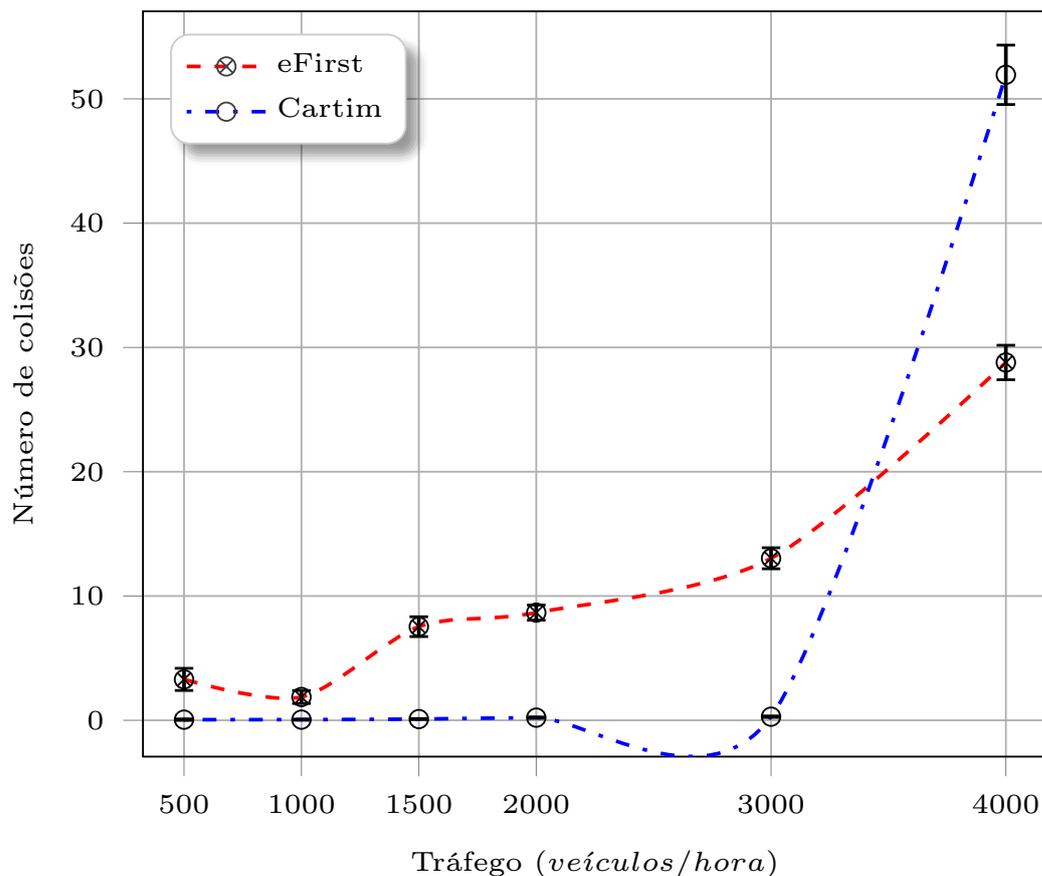
(b) Número de alertas perdidos

Fonte: Dados da pesquisa.

Para os registros que satisfazem os menores fluxos de veículos, dispostos na abscissa da Figura 40(a), a elevada porcentagem de mensagens de alerta perdidas que é reportada no eixo das ordenadas deriva da situação de rede esparsa, compelida pela indisponibilidade de veículos nas vizinhanças. Fora do alcance do sinal de transmissão, os veículos não diferenciam a portadora com os dados do alerta de outros ruídos. A suavização descendente que acontece no desenho da curva de observações (Figura 40(a)) indica, como esperado, a estabilização dessas perdas com a presença de uma quantidade maior de elementos ativos para alavancar a formação de regiões de comunicação facilitada. Para o eFIRST essas perdas se reduzem e estabilizam com um fluxo de aproximadamente 1500 veículos por hora inseridos na rodovia de investigação, atentando para os intervalos de confiança associados. Quando confrontadas, ambas estratégias na Figura 40(b) reportam perdas comedidas para regiões impactadas pela privação de vizinhança, consequência natural da minguada oportunidade para disseminação. Há uma condição de maior harmonia entre as estratégias na transição para tráfegos densos, que é interrompida ao final da abscissa, em torno dos 4000 veículos, com a divergência refletida pelo CARTIM, em tendência que caracteriza sua inabilidade para lidar com tráfegos dessa ordem.

Com o perfil da curva para a quantidade de colisões apuradas durante a disseminação de dados na Figura 41, coerente com as expectativas, a inclinação é ascendente

Figura 41 – Rodovia - Colisões na transmissão

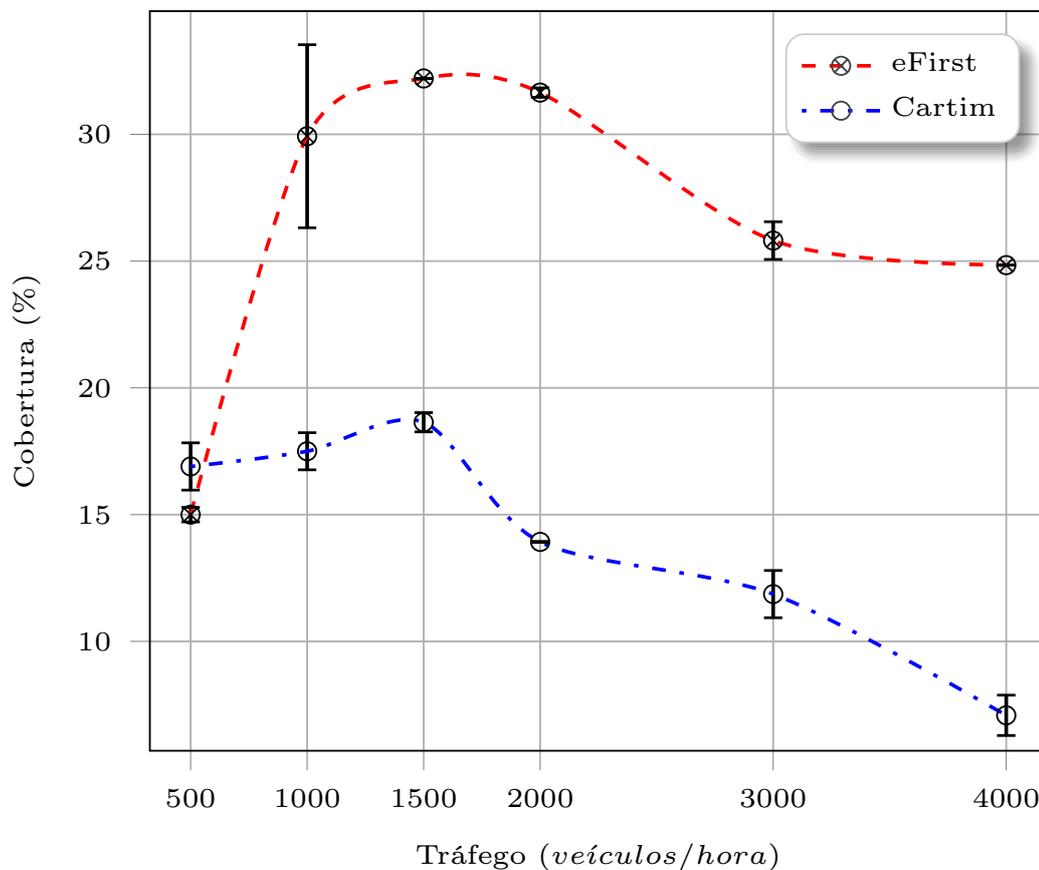


Fonte: Dados da pesquisa.

e avança em movimento de orientação oposta ao levantado para a [Figura 40\(a\)](#). Na ausência de uma estratégia robusta para o controle e sustentação desse processo, o aumento das colisões, que estabelece relação direta com a degradação da rede, somente se agravaria e ascenderia aos limites com a saturação de veículos ocupando o segmento de rodovia monitorado. Contudo, no **eFIRST**, mesmo para as condições de maior concentração de tráfego na leitura da distribuição dos 4000 veículos por hora, as situações de colisões são moderadas com consistência, acomodadas no processo de disseminação sem implicar qualquer degradação expressiva dos canais de comunicação. As estratégias avaliadas não destoam entre si em comportamento de forma significativa para essa métrica. Mesmo as flutuações de tráfego ecoando efeito inócuo sobre o **CARTIM** ao longo da abscissa, o **eFIRST** também não compreende números que mereçam alguma atenção, até se observar a densidade maior (4000 veículos) que, com mais intensidade no **CARTIM**, revela a aproximação ao limiar de operação para ambas estratégias.

Na observação da [Figura 42](#), a curva de cobertura proporcionada com a estratégia

Figura 42 – Rodovia - Cobertura na ROI



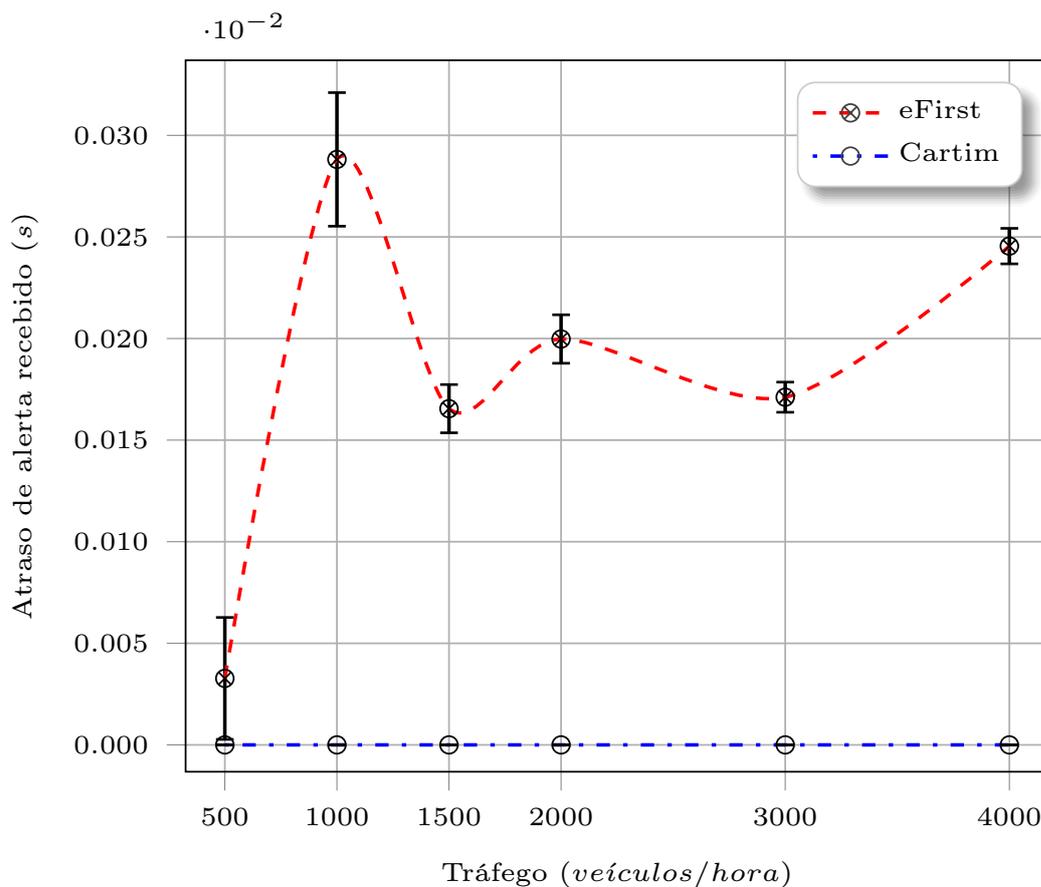
Fonte: Dados da pesquisa.

eFIRST se expõe em comportamento ímpar, alcançando os resultados mais expressivos para regimes de tráfego, aproximadamente entre 1000 e 2000 veículos por hora. Notadamente, dispor de apenas 500 veículos distribuídos no período de uma hora não contribui com a formação de redes de comunicação suficientemente conectadas para assegurar a propagação. Essa adversidade também é agravada pelo fato de que a mensagem de alerta não negligencia o TTL máximo (Tabela 9) convencional, além do eFIRST acolher a aproximação com as zonas de preferência otimizadas apresentadas na Subseção 6.2.1 (VILLAS *et al.*, 2012; VILLAS *et al.*, 2013; MENEGUETTE *et al.*, 2014a) para toda mensagem de alerta recebida. Nesta abordagem, o veículo verifica se figura na referida região e, em conformidade o mecanismo de disseminação, induz o encaminhamento do alerta somente por meio dos veículos mais distantes em relação ao alcance da transmissão.

As circunstâncias do evento que disparam o alerta respondem às coordenadas de localização alcançadas aos 80s em relação ao momento de início do percurso, o que se reflete nos tempos da Tabela 10. A disponibilidade de saídas alternativas na

rodovia em posições mais ou menos favoráveis convergem dessa dinâmica. Assim, a contextualização das condições de avaliação tem relevância na discussão dessa métrica, posto que o segmento de rodovia, extraído para esse conjunto de simulações, se traduz no trajeto com $\approx 6250m$ em extensão, formado por três pistas em cada direção e com regimes de velocidade peculiares, de forma que a própria dimensão da ROI se traduz como um desafio improvável. Conforme a Figura 42, mesmo que não de forma absoluta, a inconveniência da omissão de qualquer gatilho para moderação ou contenção ecoa na resposta inferida em cenário de avaliação desfavorável à estratégia de disseminação desenvolvida no CARTIM. Em oposição ao eFIRST, que é completamente regulado pelas orientações para propagação que qualificam somente os veículos de interesse, o CARTIM, ofuscado com as perdas e colisões, busca minimamente alcançar alguma vizinhança, qualquer que seja, independente da condição, resguardados os veículos que avançaram além do incidente na rodovia.

Figura 43 – Rodovia - Atraso verificado com o recebimento do alerta (s)

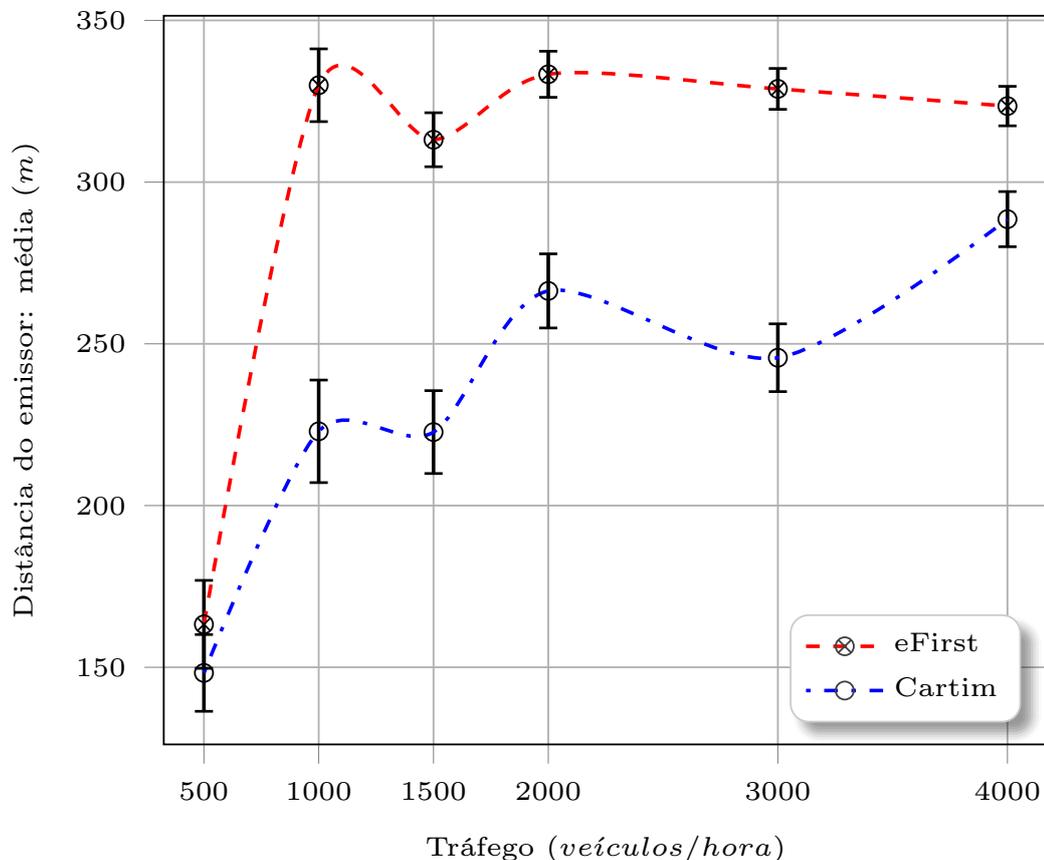


Fonte: Dados da pesquisa.

Consequência da propagação dos alertas, promovida entre veículos imediatamente adjacentes, os registros de atraso para o CARTIM são irrelevantes. Enquanto que no

eFIRST, em termos da ordem de magnitude, na Figura 43 todas as observações para o atraso percebido com o recebimento da mensagem de alerta estão acomodadas em um intervalo de valores satisfatórios para advertências de segurança (KARAGIANNIS *et al.*, 2011; IEEE, 2013). Alcançar o maior número de veículos no segmento de rodovia de interesse, em tempo suficientemente reduzido, permite ao condutor uma resposta imediata frente ao evento adverso. Distintamente, para tráfego de 500 veículos por hora, que caracteriza rede esparsa, não é possível garantir a disponibilidade de algum elemento para comunicação V2V ao alcance do sinal de transmissão em posição regular para perpetuar a disseminação na região. Resguardando o propósito de atenuar esse embarço, os veículos operam com a máxima potência para o sinal de transmissão. Com tráfego mais intenso e a identificação de uma vizinhança consolidada, a estratégia *fuzzy* do eFIRST promove a adequada adaptação para a potência no sinal de transmissão no intento de coibir as colisões. A transição entre as condições de rede esparsa e densa manifesta leve evidência para o tráfego de 1000 veículos por hora na Figura 43, visto a discordância com o atraso constatado para tráfegos maiores.

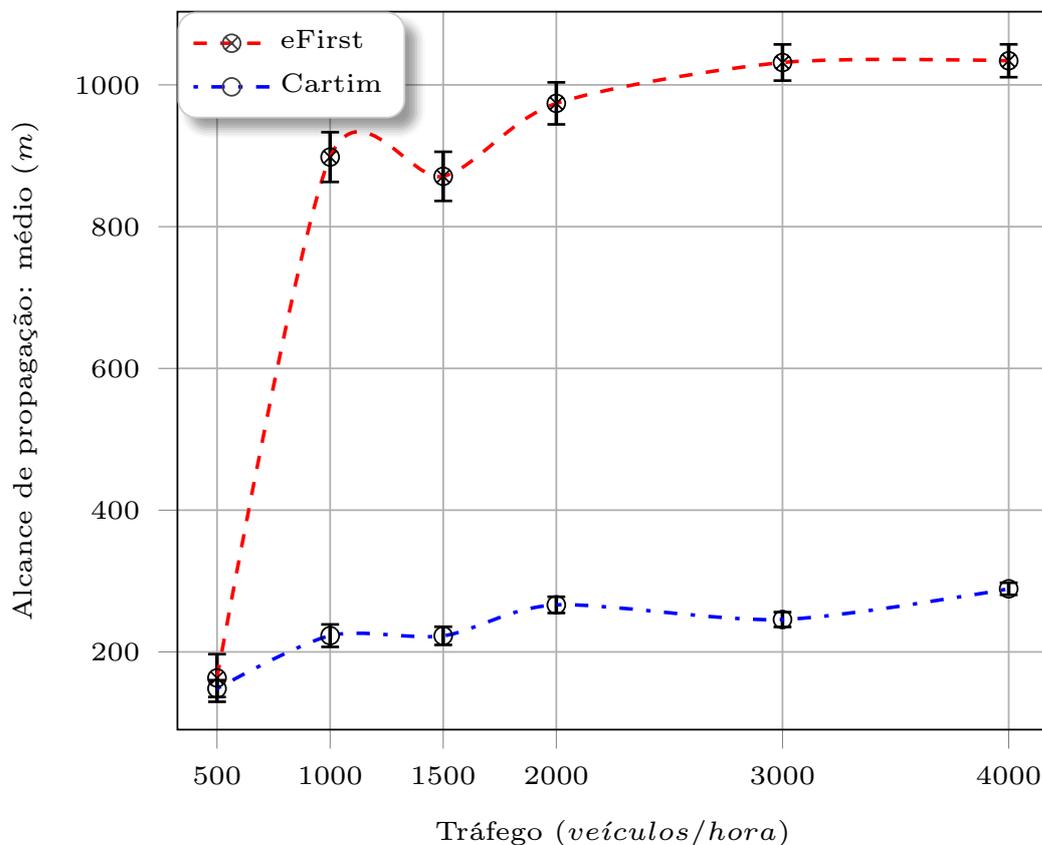
Figura 44 – Rodovia - Distância máxima média para um salto na comunicação V2V (m)



Fonte: Dados da pesquisa.

As diferentes origens (veículos) responsáveis pela continuidade no processo de disseminação dos alertas contribuem com saltos de distância média descrita na curva da [Figura 44](#). Os regimes de tráfego intenso, assegurados pela prerrogativa de maior disponibilidade de comunicação V2V no eFIRST respondem em direta conformidade ao mecanismo que induz o encaminhamento dos alertas por meio dos veículos mais distantes (VILLAS *et al.*, 2013), em relação ao alcance de uma transmissão inicial. Em outra situação, com rodovia desprovida de vizinhança para alavancar a formação de redes *ad hoc*, a retransmissão é delegada aos escassos veículos que circunstancialmente se expõem à região de recepção do sinal. Desta forma, distâncias maiores ficam comprometidas tanto na estratégia CARTIM quanto na estratégia eFIRST, como consequência das acanhadas oportunidades em posições convenientes para transmissão. Nativa à estratégia, outra providência no eFIRST que sustenta o comportamento favorável aos saltos em maiores distâncias, resulta das adequações em potência do sinal de transmissão na inferência *fuzzy* para o tráfego local.

Figura 45 – Rodovia - Distância de deslocamento da mensagem de alerta ao longo do segmento de rodovia (m)

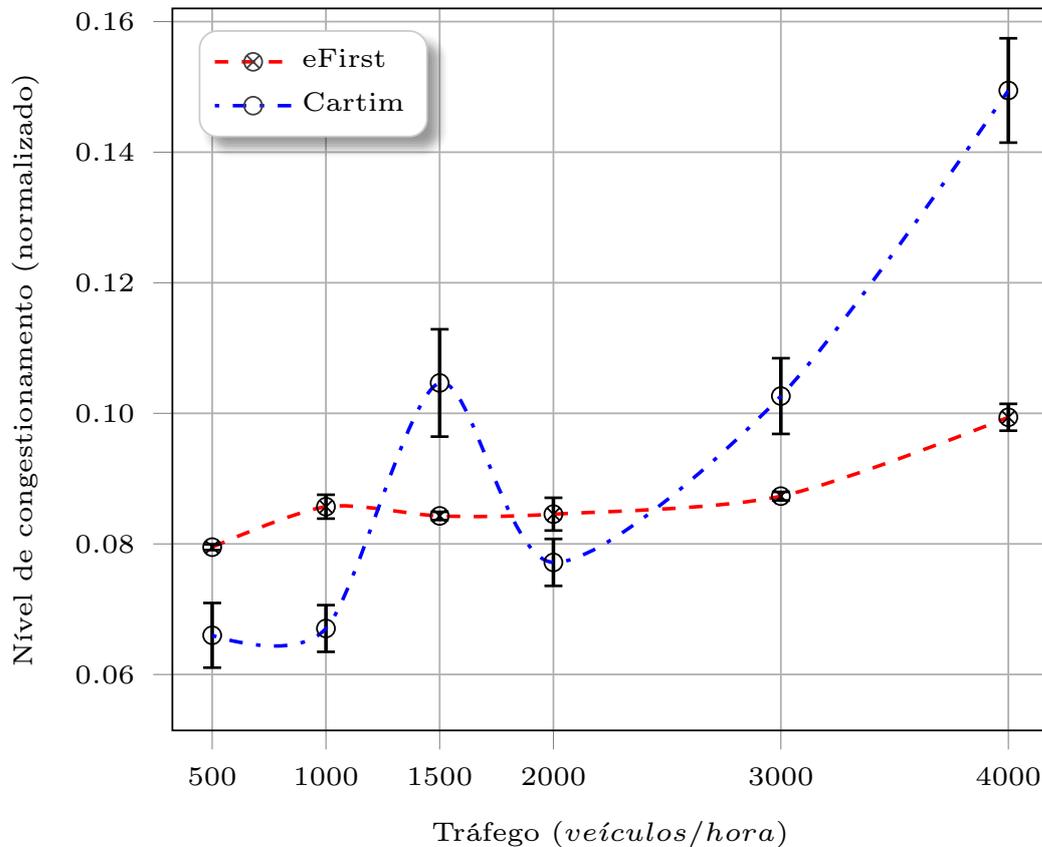


Fonte: Dados da pesquisa.

Disponível após a geração de uma única mensagem de alerta desencadeada nos

veículos envolvidos com o comprometimento da rodovia, a [Figura 45](#) permite atentar para a convergência da disseminação sobre uma vizinhança que está localizada à distância de $\approx 1000m$, tomando a estratégia eFIRST como de maior interesse. Essa extensão implica em $\approx 1/6$ do segmento observado, mesmo com tráfego desenvolvido entre leve a moderado, e oportunamente coincide com a informação instigada pela curva de cobertura da [Figura 42](#). De forma complementar, também justifica uma disseminação satisfatória, muito embora a entrega se consolide distante da convergência ideal, com 100% dos veículos pretendidos ([Subseção 6.2.3](#)). Ainda que assentada sobre uma abordagem de manobras conservadoras, a estratégia *fuzzy* de adaptação eFIRST, para a potência do sinal de transmissão inferida diretamente sobre a resposta de congestionamento, extrai propriedade suficiente do regime de tráfego e conduz o alerta às regiões da rodovia que oferecem condições de reação pertinente aos condutores. Como adversidade da abordagem de comunicação V2V, privadas de veículos na vizinhança, as estratégias *fuzzy* eFIRST e CARTIM reagem similar e presumivelmente com efeito praticamente inócuo na indisponibilidade de tráfego. Esta omissão pode facilmente ser atenuada com a simples repetição da mensagem de alerta em período controlado para sustentar a disseminação, mas resguardando os canais de transmissão. Como particularidade, a distinta discordância para a extensão de deslocamento da mensagem de alerta, com notória vantagem para a estratégia eFIRST, resulta da conciliação entre a seleção dos veículos apropriados nas zonas de preferência e a regulação *fuzzy* adaptativa para a potência de transmissão, enquanto a estratégia CARTIM desprovida de artifícios dinâmicos mais elaborados opera em desvantagem, já que se limita somente aos vizinhos adjacentes.

As curvas para a identificação do congestionamento, contextualizadas na [Figura 46](#), resumem a avaliação *fuzzy* para a condição instantânea de tráfego na região de observação da rodovia. As leituras da velocidade própria e os indícios colaborativos da saturação de veículos, mensurados por meio dos registros compartilhados de vizinhança, alimentam o motor de inferência *fuzzy* na estratégia eFIRST. A conclusão expedida com a defuzzificação ([Equação 4.10](#)) resgata da avaliação das regras de associação das entradas a resposta na [Figura 46](#) regrada ao intervalo $[0, 0.2]$ para o nível de congestionamento. A incidência do evento, que interrompe a pista em uma direção, efetivamente se reflete em completo congestionamento nas condições de densidade máxima de tráfego, mas também há a sinalização de trânsito precário mesmo com a inserção reduzida de veículos no período de avaliação. Para esta última constatação, cabe imputar o inoportuno transtorno à inexistência de opções imediatas ao recebimento do alerta que permitam contornar, por rota alternativa, o trajeto comprometido. A iniciativa do acidente induz, impreterivelmente, indícios de congestionamento em alguma escala para qualquer situação com tráfego estabelecido, ainda que a dinâmica da estratégia providencie controle e condições de reação em extensão suficiente

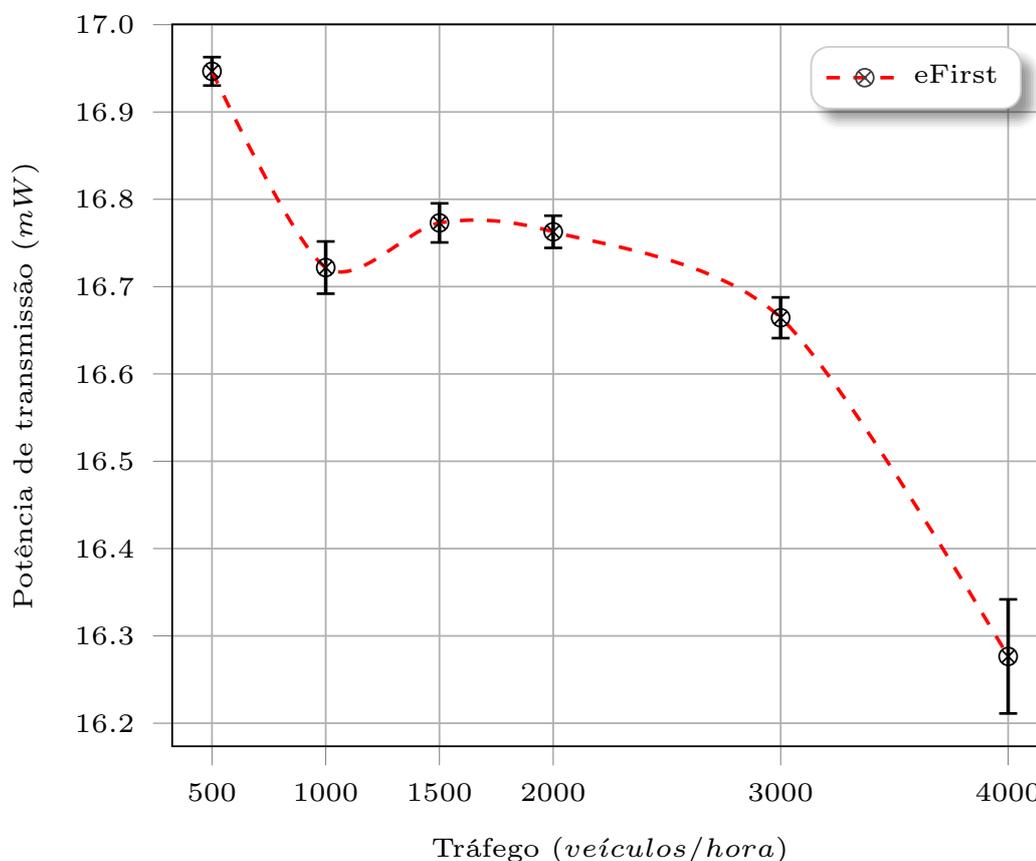
Figura 46 – Rodovia - Resposta *fuzzy* para o nível de congestionamento inferido

Fonte: Dados da pesquisa.

(Figura 45) para atenuar o inconveniente, como suscitado nas execuções com eFIRST.

Com interações singulares em consequência de uma vizinhança desprovida de tráfego razoável, a potência do sinal de transmissão permanece proeminente na expectativa de conferir alguma persistência à disseminação. Além disso, a mobilidade elevada dos veículos e a utilização de transmissões de curto alcance, intensificariam redes de topologia instável sujeitas a desconexões. Sobre esses fatores, incide ainda o efeito das flutuações na densidade dos nós que integram qualquer rede *ad hoc* veicular. Então, a incidência de tráfego em maior volume estimula o motor de inferência *fuzzy* para intervir como o mecanismo de adaptação, com a prerrogativa de ajustar a potência de transmissão. O movimento da potência pode ser verificado por meio da curva representada na Figura 47, com a inclinação que expõe a tendência de redução dos valores dessa métrica para as observações de maior densidade veicular, em conformidade com as expectativas. A contenção proposital da intervenção delegada à estratégia *fuzzy* sobre a potência do sinal manifestada na transmissão do alerta agrega resistência às alterações em ordem desproporcionalmente desproporcional. O modesto intervalo de variação, registrado em *mW*, retrata a propagação de um único alerta em

Figura 47 – Rodovia - Adequação na potência do sinal de transmissão como uma função das condições do tráfego observado



Fonte: Dados da pesquisa.

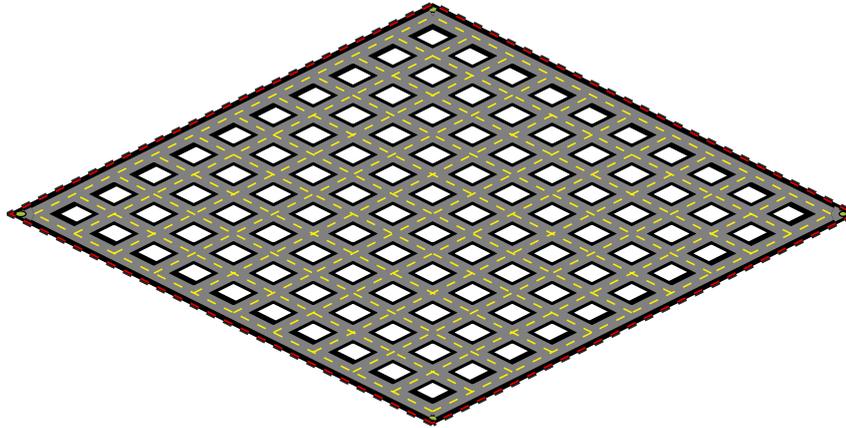
intervalo de tempo suficiente para alcançar regiões distantes (Figura 45) em vizinhança ainda relativamente reduzida e com tráfego não impactado pelo comprometimento da rodovia.

6.2.4.2 Traçado urbano

O traçado urbano (Figura 48) também recebe atenção análoga, com avaliações realizadas sobre um modelo de mobilidade realista, característica que é imprescindível para assegurar resultados coerentes e precisos nas execuções dos algoritmos de disseminação de dados. Nesta tarefa, o simulador de mobilidade urbana SUMO (BEHRISCH *et al.*, 2011) providencia modelos de mobilidade consistentes que consideram as condições das vias, as condições de velocidade do tráfego, de densidade de veículos e obstáculos, por exemplo. O traçado urbano se ampara em um cenário *Manhattan* típico da literatura, caracterizado pela estruturação evoluída de uma topologia em forma de grade, como representado na Figura 48. A região é dimensionada em um

plano de pouco mais que $5000 \times 5000 m^2$ e segmentada em blocos uniformes com extensão de aproximadamente $500 \times 500 m^2$, onde as intersecções no mapa representam os cruzamentos das vias, desprovidos de semáforo de regulação.

Figura 48 – Traçado urbano em *grid* Manhattan



Fonte: Elaborada pelo autor.

O tráfego veicular empregado nas avaliações é gerado de forma aleatória e de composição em conformidade ao descrito na [Subseção 6.2.1](#), homogeneizando veículos leves, veículos intermediários e pesados. Para garantir uma variação adequada na densidade e na velocidade dos nós, assim como para preservar aferições livres de interferências, um intervalo de 600 segundos de trânsito é consumido em cada uma das simulações. Esse tempo é considerado suficientemente longo para avaliar os procedimentos de transmissão durante a execução da heurística de disseminação. Deste período, são segregados os registros que correspondem aos 10 segundos iniciais de *warm up* e desprezados do intervalo de condução de cada simulação. Para a comunicação nas camadas física e enlace, os veículos com *software* embarcado se beneficiam do padrão [IEEE 802.11p](#) e empregam um modelo de propagação *simple obstacle shadowing* para o sinal de rádio ([SOMMER et al., 2011](#)). Cada veículo no cenário respeita a realização de um itinerário com distância mínima estabelecida em $4.5 km$, se reservando o direito a um destino aleatório. A [Tabela 11](#) sintetiza o conjunto dos mais relevantes parâmetros de configuração utilizados nas avaliações em traçado urbano.

Com o respaldo das considerações elaboradas nos trabalhos executados em momento anterior ([VILLAS et al., 2014](#); [CORREA et al., 2014](#); [CORREA et al., 2015](#)), onde as situações de deterioração são identificadas na operação de diversas estratégias de disseminação como uma consequência ao aumento da densidade veicular, nas presentes avaliações são então explorados cinco conjuntos distintos de tráfego, com amplitude para atacar condições confortáveis e estender a observação até concentrações críticas de veículos. Desta forma, presume-se um intervalo de distribuição de veículos suficiente para integrar as densidades sinalizadas no esgotamento das estratégias de

Tabela 11 – Parâmetros de simulação para a configuração de trajeto urbano

Parâmetros	Valores
Número de veículos	250, 500, 1000, 1250, 1500 veículos/h
<i>Grid Manhattan</i>	5000x5000m ² (blocos de 500x500m ²)
Itinerário mínimo	≈ 4.5 km
Modelo de interferência	<i>Simple Obstacle Shadowing</i> Sommer <i>et al.</i>
Potência de transmissão (max.)	20 mW (alcance de até ≈ 886 m)
Gatilho da mensagem de alerta	150 s (relativo ao tempo de partida)
Intervalo de simulação	600 s
Tempo de vida (TTL)	40 s
Taxa de bits	6 Mbit/s
Frequência de <i>beacon</i>	2 Hz
<i>Warm up</i>	10 s
Número de repetições	33
Intervalo de confiança	95 %

Fonte: Elaborada pelo autor.

disseminação, alcançando até o contexto da saturação de veículos para o cenário de avaliação. Este ato de prudência é desenvolvido em atenção ao propósito de transitar de formações de redes esparsas para redes completamente conectadas, o que se providencia com os regimes de tráfego que variam em 250, 500, 1000, 1250 e 1500 veículos cada, e com veículos que desenvolvem seu movimento nas vias horizontais e verticais do modelo em grade da [Figura 48](#) de forma independente.

Nas avaliações, a indução da situação de congestionamento ocorre aos 150 segundos decorridos do momento da própria partida, quando um veículo qualquer obstrui uma via ao suspender abruptamente seu movimento. Esse episódio então, oportunamente atende ao propósito específico de originar nesse veículo uma única mensagem com um alerta de advertência, para suscitar a execução da estratégia de disseminação. Na continuidade, o veículo arbitrariamente transmite informação sobre essa eventualidade às imediações. Dessa forma, ao represar o tráfego instigando um congestionamento, também desencadeia o processo de disseminação a todos os veículos distribuídos na região de interesse (ROI).

No intuito de caracterizar o comportamento da estratégia *fuzzy* adaptativa eFIRST em traçado urbano, são apresentados e discutidos os resultados produzidos em decorrência ao desenvolvimento da disseminação de uma mensagem de alerta para a iminência de congestionamento, em conformidade com a situação anteriormente descrita. Ancorada na razoabilidade, estratégias da [Seção 5.1](#) como o AID, o DBRS e o SRD exploradas em momento anterior, consideradas por [Meneguetta *et al.* \(2014a\)](#), [Correa *et al.* \(2014\)](#), [Correa *et al.* \(2015\)](#), são desobrigadas desta exposição, uma vez

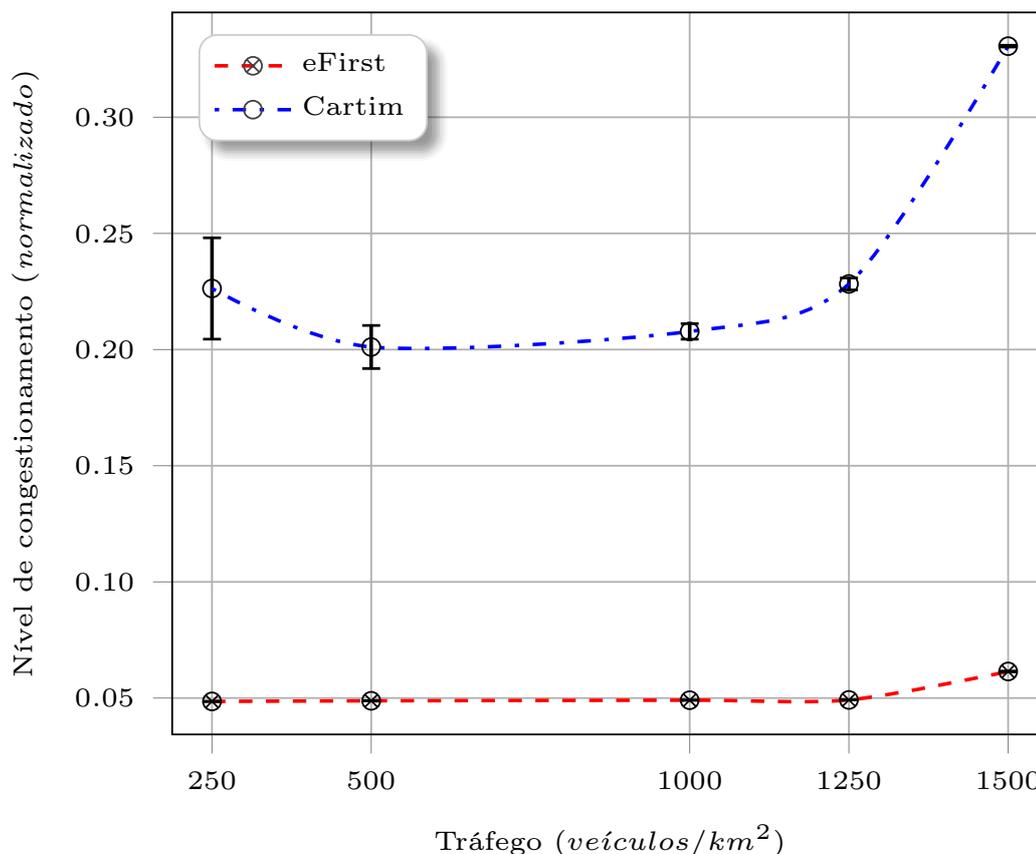
que o intervalo de tráfego veicular aplicado neste estudo é demasiado desfavorável, restringente ao alcance das mesmas. Para a justa equiparação, as curvas construídas com a estratégia adaptativa *eFIRST* são confrontadas aos resultados recolhidos com as execuções da abordagem realizada pelo algoritmo *CARTIM* (ARAÚJO *et al.*, 2014), nas situações de contraste viável e observadas as mesmas condições de simulação.

A tendência estável exteriorizada por meio da resposta ao nível de congestionamento, balizado para o intervalo $[0, 1]$ na Figura 49, disciplina a conduta cooperativa perseguida com a aplicação da estratégia *fuzzy* adaptativa *eFIRST*. O motor de inferência *fuzzy* se manifesta robusto suficiente ao enfrentar com consistência a eventualidade da obstrução local de uma via, por proporcionar alternativas, afastar e equilibrar o tráfego na região comprometida. Em todo o intervalo de densidade veicular avaliado, a estratégia *eFIRST* sustenta condições satisfatórias de tráfego e preserva valores efêmeros para os níveis de congestionamento detectados com participação acumulativa da vizinhança, sem incorrer em qualquer erro de expressão. Com menos intensidade que a estratégia *CARTIM*, inevitavelmente no limite de saturação de veículos para o cenário descrito, se torna acessível o movimento ascendente na curva de congestionamento, o que também implica um limiar de observação para qualquer abordagem.

A natureza adaptativa da estratégia *eFIRST* se reflete positivamente na regulação colaborativa do congestionamento registrado nas curvas da Figura 49, indiferente ao aumento da densidade veicular. Por consequência, o número de colisões apuradas durante a disseminação do alerta conserva-se minimizado em todo intervalo de observação na Figura 50. Em circunstância bem menos confortável, a estratégia *CARTIM* de oposição não acompanha esse comportamento regular, com evidências persuasivas de incapacidade para acolher tráfego veicular de maior ordem, além de suscitar claramente uma tendência ascendente ao desequilíbrio desenfreado para o aumento das colisões. Sem sustentação ao processo de disseminação, o aumento nas colisões estabelece relação imediata com a degradação da rede. Entretanto, no *eFIRST*, mesmo para os registros periféricos de maior concentração de tráfego dispostos na abscissa da Figura 50, as leituras de colisões são moderadas, com consistência para preservar a integridade dos canais de comunicação.

A estratégia *eFIRST* sinaliza aderência a uma conduta arrojada, essencialmente em reação a uma característica de operação que é nativa. O *eFIRST* promove a disseminação associada da advertência para a eventualidade (via interdita) aos veículos de interesse, juntamente com a orientação para a realização da correção no trajeto, quando uma solução paliativa como um desvio ou itinerário alternativo para o destino de interesse está acessível. A métrica de cobertura traçada no plano da Figura 51 catalisa e corrobora essa percepção.

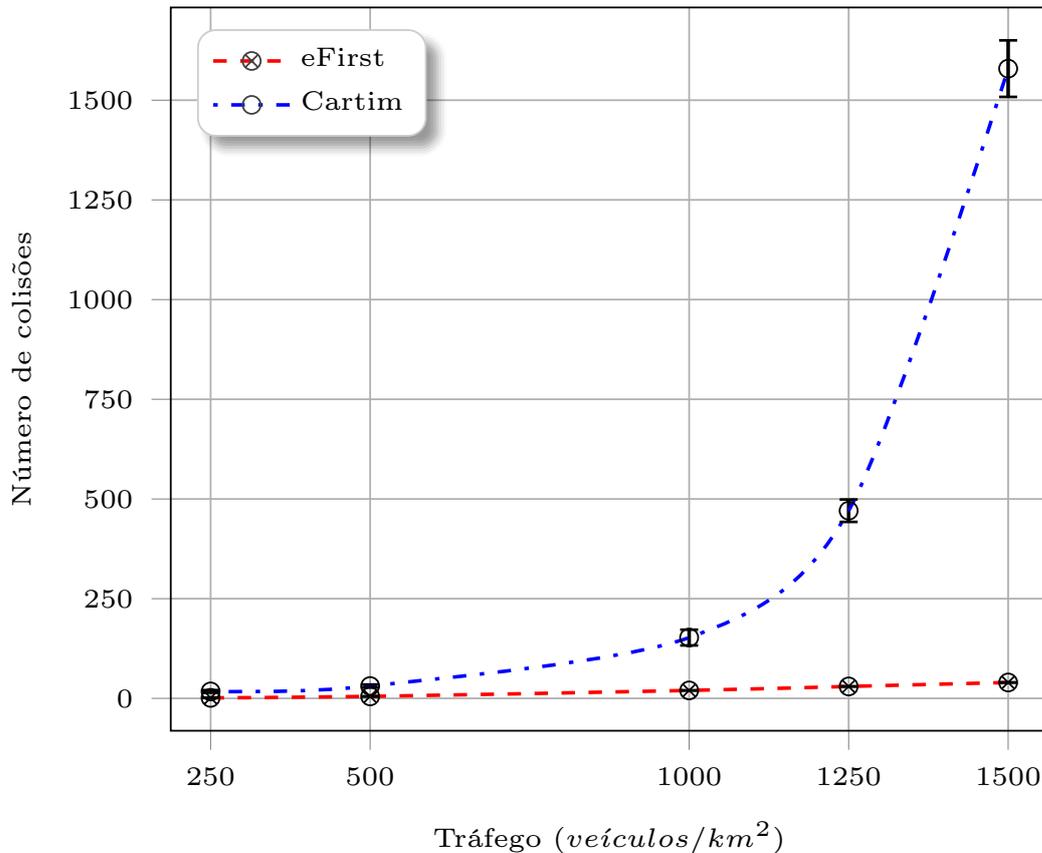
Um segmento significativo dos veículos convenientes, que integram o trajeto

Figura 49 – Urbano - Resposta *fuzzy* para o nível de congestionamento

Fonte: Dados da pesquisa.

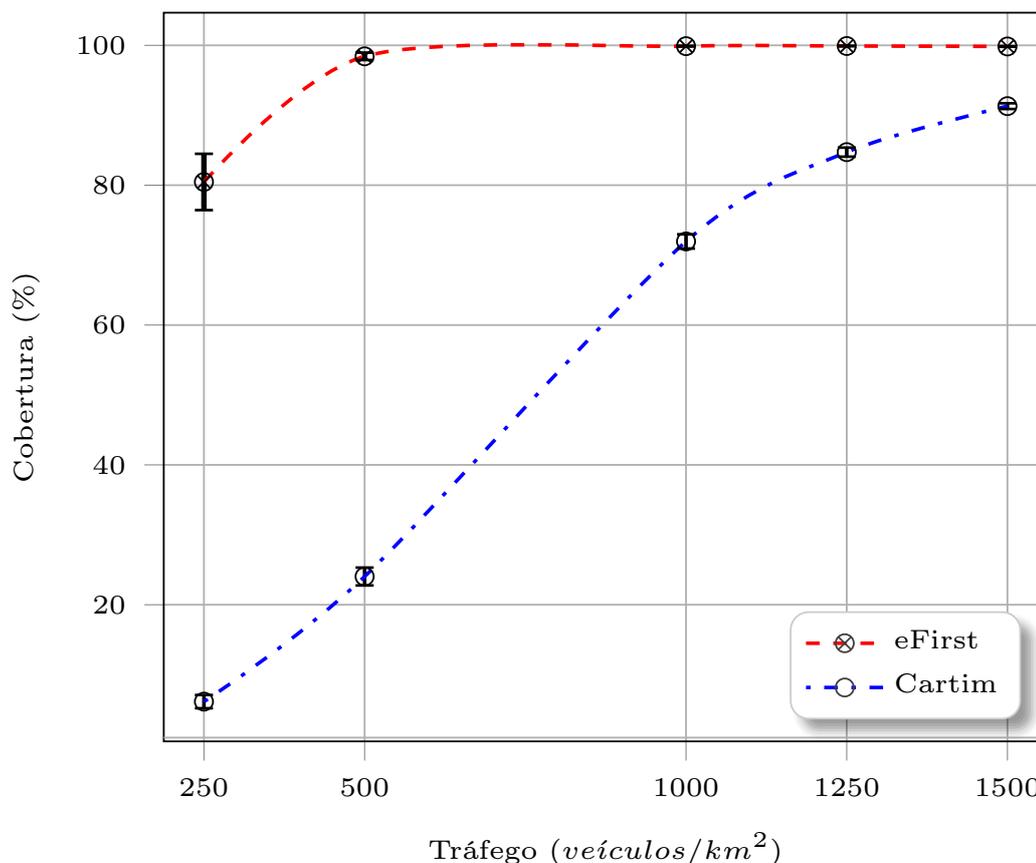
impactado, recebem o estímulo para executar a estratégia de resposta adaptativa *eFIRST*. O subsídio da [Figura 51](#) auxilia na constatação da repercussão expressiva nos resultados de cobertura alcançados já para os regimes de tráfego iniciais, onde pouco mais de 80% dos 250 veículos no cenário urbano recebem a informação do incidente na via. Essa amplitude de cobertura intensifica a execução da estratégia, antecedendo o incidente e oferecendo tempo de resposta suficiente para que os veículos em condições esbocem reação. Na estratégia *CARTIM* o traçado da curva de cobertura evolui em perfil menos acentuado, muito pela contenção imposta com a utilização de limiares que transformam as estimativas locais de congestionamento em efetivas mensagens de alerta de tráfego cooperativo (CTA).

Uma particularidade compartilhada por ambos *CARTIM* e *eFIRST*, se refere à forma de acomodar o nível de congestionamento de uma via como precursor para regular dinamicamente a disseminação do alerta, que cessa a propagação com indícios de descontinuação das condições severas de congestionamento. Mais agressivo, este último ainda se resguarda com maior moderação, já que a mensagem de alerta acata rescisão pois também não transgredir o *TTL* estabelecido.

Figura 50 – Urbano - Resposta *fuzzy* para a quantidade de colisões na transmissão

Fonte: Dados da pesquisa.

Equilibrando o propósito de agregar ampla cobertura e manter baixo o atraso na disseminação, apesar das flutuações na densidade dos nós que integram a VANET, o eFIRST estende de forma otimizada a aproximação com zonas de preferência, inicialmente elaborada em Villas *et al.* (2012) e posteriormente adotada também por Meneguetto *et al.* (2014a). Para cada mensagem recebida, segundo essa abordagem, o veículo verifica se figura na zona de relevância, o que implica critério suficiente para decidir sobre descartá-la ou não. Os encaminhamentos de menor atraso, procedentes dos veículos que satisfazem o referido preceito, colaboram para atenuar o problema de *broadcast storm*, dado que sustentam o cancelamento das transmissões equivalentes por parte dos demais veículos. O mecanismo de supressão instituído com as zonas de preferência se consolida ao atenuar as transmissões redundantes desnecessárias, mas também ao estimular com intensidade as retransmissões nos veículos mais distantes da origem do alerta. A dinâmica na heurística de disseminação se assenta sobre essa asserção. Então, a imediata consequência dessa abordagem domina a resposta característica do eFIRST, que permanece concentrada em regiões distantes em torno de 450m como apresentado na Figura 52, em acareação ao CARTIM que, desprovido de

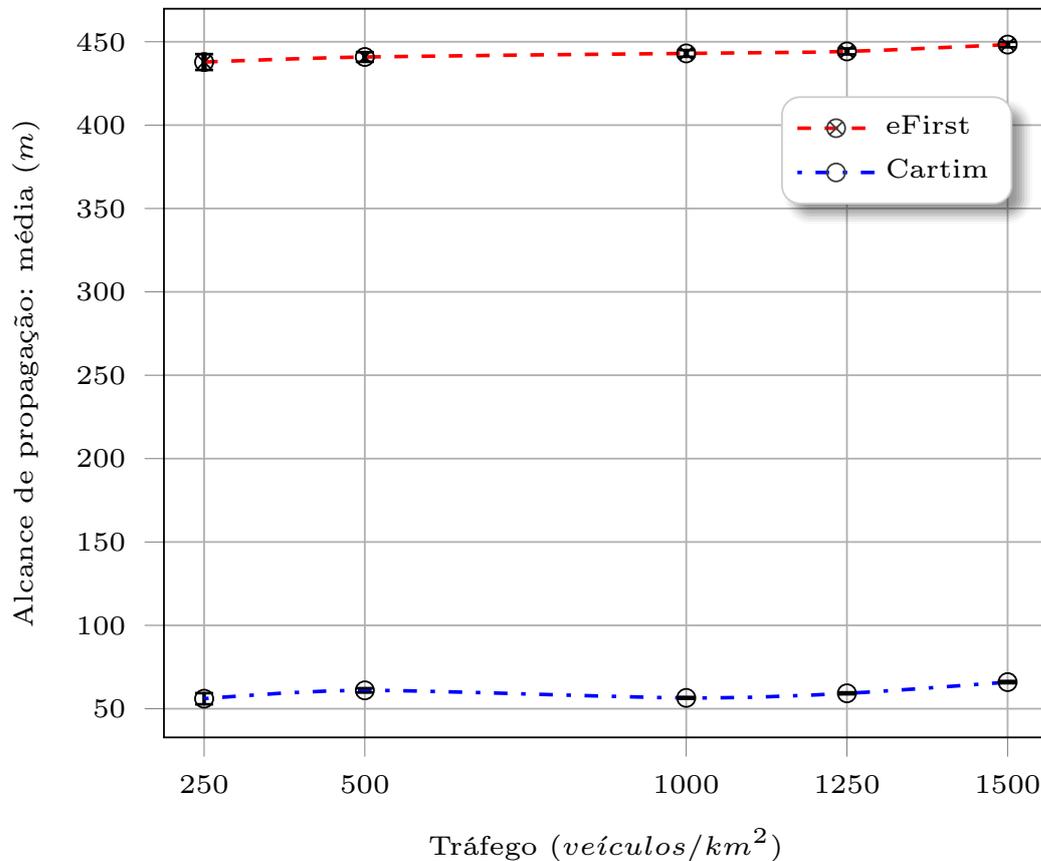
Figura 51 – Urbano - Resposta *fuzzy* para cobertura dos veículos na vizinhança

Fonte: Dados da pesquisa.

recurso análogo, opera de modo desfavorecido e insistente, notadamente resignado às proximidades dos 50m na observação da mesma figura.

Com intervalos estatisticamente equivalentes para o alcance médio de propagação, o efeito das distintas densidades veiculares sobre essa métrica pode ser inferido como inócuo, regrado ao disposto pela estratégia eFIRST que reage de forma indiferente a essas variações ao longo das simulações. Na resposta desenvolvida pelo eFIRST, a diferença instaurada no alcance de propagação é uma consequência da estratégia utilizada para garantir ampla cobertura em baixa densidade de tráfego (Figura 51). Mensagens pendentes, preservadas durante a constatação de uma partição na rede, beneficiam-se com a disponibilidade de um artifício e são retransmitidas pelos veículos que processam um *beacon*. Funciona como um gatilho, o recebimento do *beacon* dispara esse mecanismo de operação que aproveita, de forma oportunista, os elementos ao alcance para perpetuar o processo de disseminação. Indiscutivelmente, há o custo dessa estratégia agregar leves atrasos em rede esparsa, mas também incide maior cobertura com perdas equilibradas.

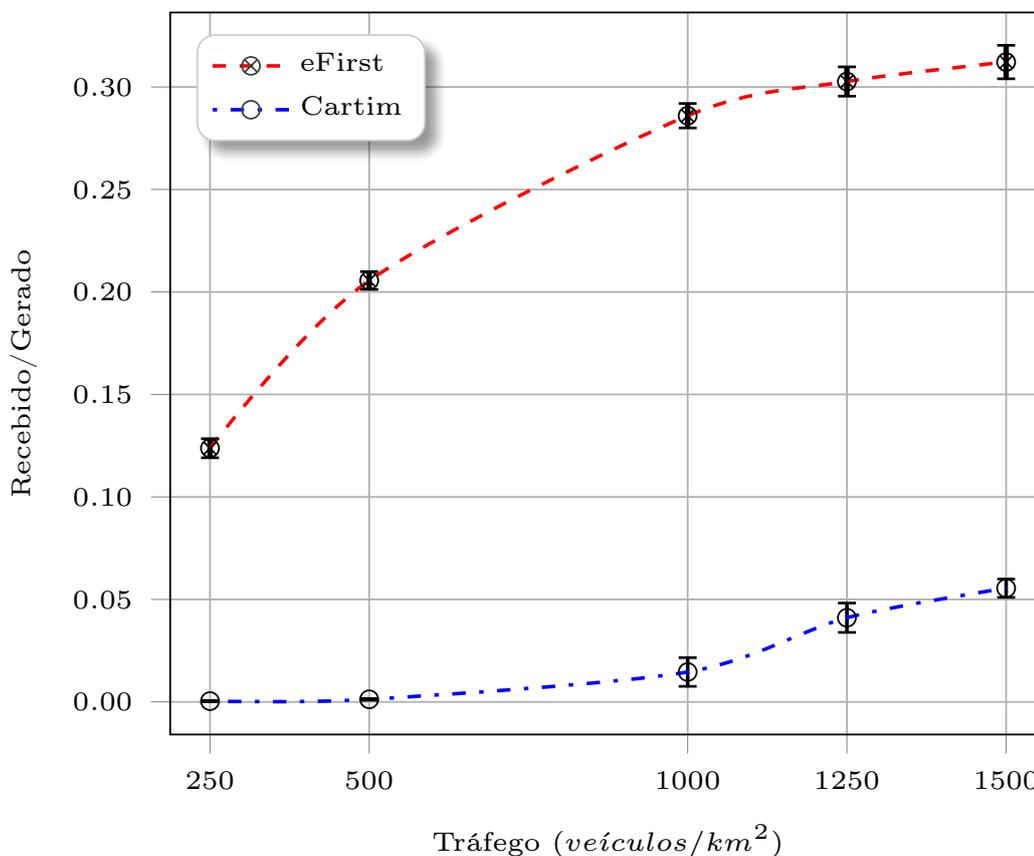
Figura 52 – Urbano - Resposta *fuzzy* para distância de propagação da mensagem de alerta em traçado urbano



Fonte: Dados da pesquisa.

A relação de interesse ao processo de propagação que se estabelece, entre a quantidade de mensagens transmitidas e a quantidade efetivamente recebida pelos veículos, pode ser aferida com o auxílio da [Figura 53](#). As construções das curvas para ambas as heurísticas da referida figura asseguram as evidências de variações ascendentes que ocorrem na taxa de entrega, expressivamente em função dos diferentes regimes de tráfego e, de forma correlata, em todas as simulações realizadas, mas com inclinação mais acentuada na conduta descrita pela execução do **eFIRST**. As respectivas inclinações refletem um desequilíbrio inicial de cerca de 12.5% em desempenho conforme registrado com a variação de rede particionada (situação com tráfego de 250 veículos informado na abcissa da [Figura 53](#)) para uma diferença de aproximadamente 25% nas condições de tráfego de maior densidade.

A estratégia de resposta adaptativa **eFIRST** responde com melhor relação para taxa de entrega nas simulações consideradas, seguida em intervalo muito distante pelas observações geradas com o **CARTIM**, o qual desenvolve resultados mais modestos e discrepantes. Para as avaliações caracterizadas pela formação de redes esparsas, onde

Figura 53 – Urbano - Resposta *fuzzy* para a relação de aproveitamento entre alertas gerados e efetivamente recebidos

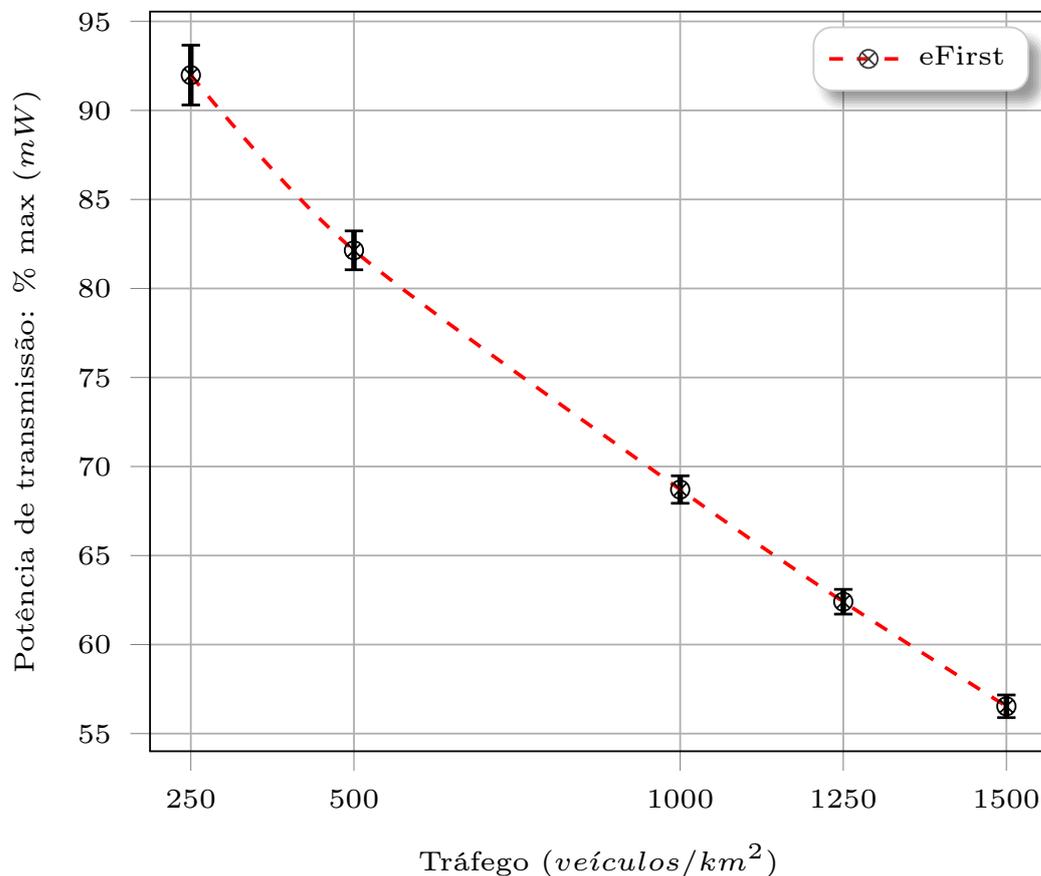
Fonte: Dados da pesquisa.

os tráfegos que envolvem 250 ou 500 veículos integram o ambiente, sem um ajuste adequado a estratégia evoluída no **CARTIM** implica um custo de execução maior, com um resultado de entrega em intensidade pouco significativa, e ainda com a penalização na cobertura, apontada pela avaliação crítica da **Figura 51**. Em posição mais confortável, no **eFIRST** que se vale de abordagem mais responsiva, a autonomia para regulação adaptativa desenvolvida, principalmente sobre a potência de transmissão, provisiona um aproveitamento satisfatório e substancial dos alertas produzidos. A agregação do motor de inferência *fuzzy* embarcado, responsável pela avaliação continuada da vizinhança veicular disponível, ampara a adequação dos parâmetros de operação da estratégia **eFIRST** para, desta forma, garantir uma melhor resposta de aproveitamento na taxa de entrega. Este fato é refletido na curva de avaliação dessa métrica (**Figura 53**), que apresenta tendência de estabilização na região de pouco mais de 30% para as maiores densidades veiculares examinadas.

A adequação autônoma realizada sobre os parâmetros de operação envolvidos no ajuste da potência de transmissão, que proporcionam a caracterização de inclinação

descendente na Figura 54, refletem a relação direta estabelecida com a Equação 6.1 e mapeada na Figura 36.

Figura 54 – Urbano - Resposta *fuzzy* para o ajuste da potência média do sinal de comunicação



Fonte: Dados da pesquisa.

A velocidade local e o nível de congestionamento identificados nas proximidades abastecem a inferência *fuzzy* na estratégia *eFIRST*, a conseqüente regulagem ocorre sobre as balizas da máxima potência do sinal de transmissão admitido. Assim, nas condições de incidência frequente dos particionamentos de rede, há a perseguição aos ajustes para potências de transmissão que, embora oscilem mais à volta de um valor médio, também acomodam maiores alcances, como reação inerente ao *eFIRST*. Na extremidade oposta, as sólidas formações de rede, que se beneficiam de farta vizinhança, permitem a harmonização imediata dos ajustes que estimulam potências de transmissão de menor ordem, para acomodar a intensificação da oferta de retransmissões com o uso comedido dos canais de comunicação em conformidade às expectativas. A intensidade da atenuação derivada do conseqüente na estratégia de resposta adaptativa *eFIRST* e refletida como porcentagem da máxima potência de transmissão na Figura 54, com autonomia converge desprovida de supervisão. Entretanto, são disponibilizados inter-

valos conservadores para promover a reação de adequação na resposta em potência. Então, mesmo nas densidades veiculares elevadas, esta permanece superior aos 55% do intervalo de potência estabelecido, em analogia ao discutido anteriormente para o traçado de rodovia com a [Figura 47](#).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As VANETs sustentam convenientes propriedades de flexibilidade e praticidade na comunicação consumida pela sociedade moderna conectada. Para formação própria básica, dispensam qualquer infraestrutura estabelecida ou recursos de gerenciamento, consolidando-se como um paradigma que acompanha tendências atuais, em que falhas eventuais não comprometem a operação coletiva e que acomoda as exigências da disseminação de dados na situação de alta mobilidade dos nós.

Neste enfrentamento, observa-se a natural demanda imposta aos sistemas embarcados para lidar com a necessidade de mecanismos que conferem níveis de adaptabilidade satisfatórios às condições adversas, sem prejuízo à operação normal de comunicação desses sistemas. A situação se estende ao contexto das VANETs, onde soluções computacionalmente eficientes, adequadas aos ambientes inóspitos de formação, são sempre perseguidas.

Características ou restrições intrínsecas e requisitos de operação representam critérios que não podem ser negligenciados devido à natureza ímpar e aos diversificados propósitos das aplicações de VANET. Inspiradoras estratégias são propostas pela academia, todas fundamentadas na expectativa de prover comunicação em cenários com densidade de nós bem caracterizados. Mesmo assim, a elaboração de estratégias para disseminação de alertas e dados de forma otimizada, nas singulares condições de operação em VANET, ainda se institui como um sinuoso e intrincado itinerário para abordagens inovadoras, uma vez constatado que não ocorre restrição para uma particular estratégia de robustez generalizada.

As adversidades distintas consomem atenção para tratar, com frequência e de forma simultânea, desafios com as restrições de atraso, as restrições de sobrecarga de comunicação, a topologia instável, a mobilidade dos nós, as frequentes desconexões, a

alta densidade veicular com circunstancial congestionamento e, na extremidade oposta, o tráfego veicular insuficiente que é crítico na comunicação V2V.

7.1 Contribuições

No estudo contextualizado, sem a pretensão de exaurir cada uma das discussões, foram referenciados protocolos e estratégias para realizar a disseminação de mensagens de alertas e também para a identificação de congestionamento, com respostas adequadas para tratar problemas isolados, mas que pela condução delataram a evidente necessidade de agregar autonomia às próprias abordagens (ARTIMY, 2007; ARAUJO *et al.*, 2014; MENEGUETTE *et al.*, 2016). Assim, todo o desenvolvimento da estratégia *fuzzy eFIRST* discutida adere a uma tendência de aproximações mais versáteis, com adaptação autônoma, que considera diferentes fontes de informação local e de contexto por exemplo, e que se compromete com problemas de origens distintas.

O processo de disseminação do alerta adota premissas de resposta consolidadas em oportunidades anteriores por meio de investigação comparativa de uma ampla diversidade de estratégias da literatura (VILLAS *et al.*, 2012; VILLAS *et al.*, 2014; MENEGUETTE *et al.*, 2014a; CORREA *et al.*, 2015), mas sem abandonar a cautela, confia incondicionalmente na abordagem cooperativa e, particularmente, no sistema *fuzzy* embarcado em cada veículo, que associa a respectiva capacidade de adaptação conferida por meio da base de regras¹ de inferência.

Os regimes de tráfego, tanto para situações inusitadas como para tráfego em condições regulares na estratégia *eFIRST*, recebem tratamento descrito por meio dos termos linguísticos associados em regras e, então, mapeados no domínio de resposta para o nível de congestionamento (Figura 35). Portanto, o motor de inferência integra todo o mecanismo de decisão, que confere autonomia de forma individualizada aos veículos, em modelo análogo a um sistema de controle *fuzzy* como descrito em Mamdani (1977) e em Negnevitsky (2011), por exemplo.

Diferente do que se verifica com estratégias baseadas em rede neural artificial (ANN) (MENEGUETTE *et al.*, 2016), uma vez que o treinamento para a determinação dos pesos das sinapses se não inviabiliza, certamente compromete o desempenho da estratégia. A robustez do *eFIRST* se ampara, mas também se distingue pela dinâmica da ampla capacidade de processar proveitosamente conhecimento especialista implícito com as regras e suas associações. Como a topologia das redes *ad hoc* experimenta dinâmica intensa, o veículo é penalizado com um limitado intervalo de tempo para obter os registros de tráfego, processar e retransmitir um alerta. Por sua vez, o tempo

¹ O Apêndice B ilustra, como exemplo, um mesmo conjunto de regras representado em linguagem FIS e também codificado em linguagem C++.

de convergência do procedimento de aprendizagem da ANN e a respectiva demanda de processamento são aspectos que se posicionam como obstáculos ao mecanismo da aprendizagem não supervisionada embarcada. Esses aspectos, processamento e período para convergência obrigam a realização do treinamento com antecedência, contraindo, desta forma, como inconveniência o encolhimento proibitivo da abrangência e das condições de operação. A estratégia eFIRST dispensa qualquer procedimento de treinamento ou aprendizado, instituindo processamento reduzido em regime.

O tratamento disponibilizado com o eFIRST é realizado por meio de uma arquitetura modular de propósito geral (RADA-VILELA, 2018), implementada totalmente desacoplada do arcabouço da tecnologia de comunicação WAVE/IEEE 802.11p, mas embarcada de forma conjunta em cada nó que integra a VANET. Essa arquitetura introduz uma camada abstrata sobre a tecnologia IEEE 802.11p com a estratégia de regulação da comunicação que opera na forma de uma componente extensível, permitindo agregar outras informações de entrada para implicar novas funcionalidades ou mesmo consequentes compostos, em benefício à experiência de condução. Esta mesma regulação também subsidia a exploração de artifícios para providenciar o consumo sustentável de energia no dispositivo de comunicação, em conformidade com as expectativa para a indústria automotiva.

A abordagem adotada nos capítulos anteriores proporciona uma descrição consistente das particularidades associadas ao eFIRST, uma estratégia adaptativa baseada em um sistema *fuzzy* autônomo, que faz o exclusivo uso de comunicações V2V para compartilhar cooperativamente informações de contexto e de registros de identificação da vizinhança local. Embarcada em cada veículo, essa estratégia proporciona uma solução adaptativa para detectar a situação de tráfego local atual, na iminência de congestionamento no segmento comprometido do traçado observado. Portanto, de forma cooperativa essa métrica identifica as condições de tráfego na região de proximidade do veículo e, então, se reverte na informação que sustenta uma resposta proporcional em potência para o sinal de transmissão (Figura 36) favorecendo o êxito da comunicação V2V. As retransmissões subsequentes se beneficiam desta regulação, mas também se amparam nas otimizações incorporadas (Figura 37) aos mecanismos descritos com os enfrentamentos da literatura (Capítulo 5).

A inovação com a abordagem *fuzzy* para regular a necessidade de potência sobre o sinal das transmissões, agregada às otimizações nas zonas de seleção dos elementos de propagação, sequestraram atenção como objetos da elaboração de uma estratégia adaptativa para operação em VANET, a eFIRST. Entretanto, o enfrentamento próspero às situações inusitadas não esgota a discussão. O contexto acomoda outras apurações, como os desafios que a Seção 7.3 aponta.

7.2 Publicações Geradas

As contribuições originadas por meio de pesquisas direta ou indiretamente relacionadas a esta tese foram publicadas nos trabalhos referenciados como [Apêndice A](#) e sintetizadas na sequência.

Da observação de literatura farta em propostas de estratégias, geralmente específicas para questões isoladas e cenários bem definidos, no trabalho de [Correa et al. \(2014\)](#) os esforços são concentrados no sentido de examinar parâmetros de operação em abordagens como a do [AID](#), do [DBRS](#) e do [ADDHV](#) destinados à disseminação de mensagens. A avaliação comparativa examina as estratégias abordando desafios como o particionamento de rede, o problema de tempestade *broadcast* e os tráfegos diversos, que comprometem o processo de disseminação. Os resultados de um conjunto de métricas, obtidos em diferentes regimes de tráfego veicular, completam a discussão realizada; e as considerações de desempenho para respostas em cobertura, atraso, taxa de entrega, transmissões e pacotes perdidos sustentam a iniciativa para um posterior desenvolvimento de uma solução adaptativa às flutuações na densidade veicular.

Em [Correa et al. \(2015\)](#), uma avaliação comparativa possibilita explorar as estratégias desenvolvidas com o [AID](#), o [DBRS](#), o [SRD](#) e diversas variações do [ADDHV](#). Nesta aproximação, a atenção converge para atender as expectativas de examinar os parâmetros de operação ao abordar desafios que comprometem o processo de disseminação em cenários distintos. Induzindo diferentes regimes de tráfego veicular, os resultados de um conjunto de métricas utilizadas na observação de desempenho para respostas em cobertura, atraso, taxa de entrega, transmissões, pacotes perdidos, entre outras, completam a discussão elaborada com o propósito de tratar características intrínsecas das [VANETs](#) e, mais além, sustentam a concepção das zonas de preferência otimizadas, como introduzido na [Subseção 6.2.1](#), adotada na dinâmica da estratégia [eFIRST](#),

Até o momento da elaboração desta tese², um terceiro artigo com a discussão das avaliações de execução da estratégia [eFIRST](#) no enfrentamento de trajetos congestionados foi submetido para o *Springer Wireless Networks Journal (WiNe)* e aguarda a respectiva avaliação editorial.

7.3 Trabalhos Futuros

Aspectos desafiadores que reivindicam enfrentamentos direcionados, além de funcionalidades ainda limitadas nas operações de comunicação em [VANET](#), identificadas com a abordagem adotada neste documento, sustentam a expectativa de estender os desenvolvimentos apresentados.

² Dezembro de 2018.

Acompanhando o mesmo contexto, mas instigando outras frentes, os trabalhos seguintes são motivados pela perspectiva de investigar as contribuições com a estimativa da densidade local, conforme descrito em (ARTIMY, 2007), em relação aos registros estatísticos atualizados na percepção dos *beacons* produzidos na vizinhança. O mapeamento *fuzzy* adotado na estratégia eFIRST, para a composição do sistema por meio de funções de pertinência em configuração triangular, acomoda conjecturar outras formas características de representação dos termos linguísticos, como introduz a Figura 12, e a relação de sobreposição desses conjuntos frequentemente é escopo do estreitamento otimizado que deriva da influência de métodos originais.

Em abordagem menos restritiva, a inserção planejada de RSUs em posições de comunicação crítica e nas regiões convenientes para troca de tráfego de interesse beneficia a infraestrutura de serviços para ITS e merece atenção com avaliação mais criteriosa para a relação custo/benefício. Sem exceder os limites de operação das VANETs, mas explorando outra competência que não a comunicação propriamente aludida, na literatura há convergência de interesses sobre a identificação e a caracterização cooperativa (ou autônoma) de rotas alternativas viáveis, sem induzir novos imprevistos secundários mesmo para trajeto de custo reduzido assegurado.

O acolhimento dos veículos elétricos em maior escala consolidado como oportunidade de mercado intensifica a atenção para os dispositivos de comunicação em tecnologia IEEE 802.11p. Subordinados aos ajustes de potência para o sinal de transmissão, esses dispositivos também admitem a operação otimizada para atender quaisquer que sejam as reivindicações no consumo de energia, acatando respostas análogas ao do procedimento de inferência elaborado para a estratégia eFIRST, preservadas as respectivas particularidades das informações de entrada apropriadas de cada sistema *fuzzy*.

Por fim, ao atentar para as características fundamentais de operação da rede *ad hoc* veicular, onde a troca de mensagens de *beacon* executada a uma taxa constante pode levar à sobrecarga que compromete o canal de comunicação e conseqüentemente à perda de pacotes, é pertinente acomodar as considerações elaboradas em (ALHAMEED; MAHGOUB, 2017). Neste trabalho, Alhameed e Mahgoub (2017) acenam para a importância do esquema de sinalização (*beaconing*) adaptativa, em oposição à modesta e coadjuvante frequência de *beacon* adotada como parâmetro secundário para a estratégia eFIRST. O favorecimento do anúncio com frequência adaptativa de *beacon* se faz necessário para reduzir o congestionamento do canal de transmissão e para ampliar a troca cooperativa de informações entre os nós da vizinhança local, tanto quanto possível.

REFERÊNCIAS

ALASMARY, W.; ZHUANG, W. Mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 2, p. 222 – 230, 2012. ISSN 1570-8705. Recent Advances in Analysis and Deployment of IEEE 802.11e and IEEE 802.11p Protocol Families. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570870510000703>>. Citado nas páginas 31, 46 e 49.

ALHAMEED, M.; MAHGOUB, I. VANET adaptive beaconing based on fuzzy logic. In: **2017 IEEE 15th Intl Conf on Dependable, Autonomous and Secure Computing, 15th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 3rd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 736–743. Citado nas páginas 100, 101, 102 e 159.

ALVES, R. S. A.; CAMPBELL, I. V.; COUTO, R. S.; CAMPISTA, M. E. M.; MORAES, I. M.; RUBINSTEIN, M. G.; COSTA, L. H. M. K.; DUARTE, O. C. M. B.; ABDALLA, M. Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**, SBRC'2009, Recife, PE, Brazil, p. 199–254, 2009. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/ACC09.pdf>>. Acesso em: October, 2013. Citado nas páginas 41, 42, 44, 50 e 51.

ARAUJO, G. B.; QUEIROZ, M. M.; DUARTE-FIGUEIREDO, F. d. L. P.; TOSTES, A. I. J.; LOUREIRO, A. A. F. CARTIM: A proposal toward identification and minimization of vehicular traffic congestion for VANET. In: **ISCC 2014**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. Citado nas páginas 36, 37, 71, 99, 102, 110, 113, 115, 135, 147 e 156.

ARTIMY, M. Local density estimation and dynamic transmission-range assignment in vehicular ad hoc networks. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 8, n. 3, p. 400–412, Sept 2007. ISSN 1524-9050. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2007.895290>>. Citado nas páginas 37, 61, 90, 156 e 159.

BACHIR, A.; BENSLIMANE, A. A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast. In: **Proc. 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference**. [S.l.: s.n.], 2003. v. 4, p. 2456–2460. Citado na página 58.

BAI, F.; STANCIL, D. D.; KRISHNAN, H. Toward understanding characteristics of dedicated short range communications (dsrc) from a perspective of vehicular network engineers. In: **Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking**. New York, NY, USA: ACM, 2010. (MobiCom'10), p. 329–340. ISBN 978-1-4503-0181-7. Chicago, Illinois, USA. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1859995.1860033>>. Citado nas páginas 48 e 49.

BAKHOUYA, M.; GABER, J.; LORENZ, P. An adaptive approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks. **Journal of Network and Computer**

Applications, v. 34, n. 6, p. 1971 – 1978, 2011. ISSN 1084-8045. Control and Optimization over Wireless Networks. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804511001226>>. Citado nas páginas 35, 101, 103 e 108.

BARONTI, P.; PILLAI, P.; CHOOK, V. W.; CHESSA, S.; GOTTA, A.; HU, Y. F. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and zigbee standards. **Computer Communications**, v. 30, n. 7, p. 1655 – 1695, 2007. ISSN 0140-3664. Wired/Wireless Internet Communications. Citado na página 46.

BAUER, P.; NOUAK, S.; WINKLER, R. **A Brief Course in Fuzzy Logic and Fuzzy Control**. 2018. <<http://www.esru.strath.ac.uk/Reference/concepts/fuzzy/fuzzy.htm>>. Department of Knowledge-Based Mathematical Systems, Johannes Kepler University Linz, A-4040 Linz, Austria. Disponível em: <<https://www.fll.jku.at/aboutus>>. Acesso em: 20/07/2018. Citado na página 73.

BAUZA, R.; GOZALVEZ, J.; SANCHEZ-SORIANO, J. Road traffic congestion detection through cooperative vehicle-to-vehicle communications. In: **Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 606–612. ISSN 0742-1303. Citado nas páginas 31, 36, 71, 98, 99, 102, 110 e 120.

BEHRISCH, M.; BIEKER, L.; ERDMANN, J.; KRAJZEWICZ, D. SUMO - simulation of urban MObility: An overview. In: OMEROVIC, S. . U. of O. A.; SIMONI, R. I. R. T. P. D. A.; BOBASHEV, R. I. R. T. P. G. (Ed.). **SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation**. Barcelona, Spain: ThinkMind, 2011. p. 63–68. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/71460/>>. Citado nas páginas 113 e 145.

BEJAN, A.; LAWRENCE, R. Peer-to-peer cooperative driving. In: **in Proc. ISCIS**. [S.l.: s.n.], 2002. p. 259–264. Citado na página 92.

BERTINI, R. L. You are the traffic jam: An examination of congestion measures. In: **85th Annual Meeting of the Transportation Research Board**. Washington, D.C.: [s.n.], 2006. p. c073–c090. Citado na página 94.

BINGLEI, X.; ZHENG, H.; HONGWEI, M. Fuzzy-logic-based traffic incident detection algorithm for freeway. In: **Machine Learning and Cybernetics, 2008. International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2008. v. 3, p. 1254–1259. Citado nas páginas 71, 98 e 120.

BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. Editora da UFSC, 2006. (Série didática). ISBN 9788532801388. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=AhhbQwAACAAJ>>. Citado na página 72.

BLUM, J.; ESKANDARIAN, A.; HOFFMAN, L. Mobility management in IVC networks. In: **Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 150–155. Citado nas páginas 35 e 58.

BOLLA, R.; REPETTO, M. An integrated mobility framework for ad hoc distributed personal networks. **Int. J. Commun. Netw. Distrib. Syst.**, Inderscience Publishers, Inderscience Publishers, Geneva, SWITZERLAND, v. 4, n. 3, p. 306–330, April 2010. ISSN 1754-3916. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1504/IJCND.2010.032417>>. Citado na página 41.

BOOYSEN, M.; ZEADALLY, S.; ROOYEN, G. J. van. Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks. **IET Communications**, v. 5, p. 1619–1631, 2011. ISSN 1751-8628. Citado nas páginas 33, 46, 48, 50, 51 e 56.

BRENNAND, C. A. R. L.; CUNHA, F. D. da; MAIA, G.; CERQUEIRA, E.; LOUREIRO, A. A. F.; VILLAS, L. A. FOX: A traffic management system of computer-based vehicles FOG. In: **2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 982–987. Citado nas páginas 30 e 100.

BRICKLEY, O.; SHEN, C.; KLEPAL, M.; TABATABAEI, A.; PESCH, D. A data dissemination strategy for cooperative vehicular systems. In: **Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 2501–2505. ISSN 1550-2252. Citado nas páginas 35 e 44.

BRIESEMEISTER, L.; SCHAFERS, L.; HOMMEL, G.; AG, D. Disseminating messages among highly mobile hosts based on inter-vehicle communication. In: **IEEE Intelligent Vehicles Symposium**. [s.n.], 2000. p. 522–527. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/IVS.2000.898398>>. Citado na página 58.

BROWN, T. X.; ARGROW, B. M.; DIXON, C.; DOSHI, S.; THEKKEKUNNEL, R.-G.; HENKEL, D. Ad hoc UAV ground network (AUGNet). In: **AIAA's 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference**. Chicago, IL: [s.n.], 2004. Sep. Disponível em: <<https://goo.gl/sRmbxJ>>. Citado na página 45.

BURLEIGH, S.; HOOKE, A.; TORGERSON, L.; FALL, K.; CERF, V.; DURST, B.; SCOTT, K.; WEISS, H. Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet. **IEEE Communications Magazine**, IEEE Press, v. 41, n. 6, p. 128–136, jun. 2003. ISSN 0163-6804. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2003.1204759>>. Citado na página 41.

CAO, Y.; SUN, Z. Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 15, n. 2, p. 654–677, 2013. Citado nas páginas 41 e 42.

CAO, Z.; SHI, K.; SONG, Q.; WANG, J. Analysis of correlation between vehicle density and network congestion in VANETs. In: **2017 7th IEEE International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 409–412. ISSN 2377-844X. Citado nas páginas 96, 97 e 108.

CAPACITY, N. R. C. H. R. B. C. on H. **Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research**. U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, 1950. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=7ZggAAAAMAAJ>>. Citado nas páginas 117 e 120.

CAPPIELLO, A.; CHABINI, I.; NAM, E. K.; LUE, A.; ZEID, M. A. A statistical model of vehicle emissions and fuel consumption. In: **Proceedings. The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems**. [S.l.: s.n.], 2002. p. 801–809. Citado na página 30.

CAR 2 CAR COMMUNICATION CONSORTIUM. Car 2 car communication consortium website. E-mail: contact(at)car-2-car.org. 2018. Disponível em: <<https://www.car-2-car.org>>. Acesso em: 17/06/2018. Citado nas páginas 29, 32, 51 e 91.

CHAN, W. F.; SIM, M. L.; LEE, S. W. Performance analysis of vehicular ad hoc networks with realistic mobility pattern. In: **ICT-MICC 2007: IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 318–323. 14-17 May 2007. Citado na página 113.

CHEN, W.; GUHA, R. K.; KWON, T. J.; LEE, J.; HSU, Y.-Y. A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular *ad hoc* networks. **Wireless Communications and Mobile Computing**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 11, n. 7, p. 787–795, 2011. ISSN 1530-8677. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/wcm.862>>. Citado nas páginas 35, 58, 59, 60, 93, 109 e 116.

CHEN, Z. D.; KUNG, H. T.; VLAH, D. Ad hoc relay wireless networks over moving vehicles on highways. In: **Proceedings of the 2Nd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing**. New York, NY, USA: ACM, 2001. (MobiHoc'01), p. 247–250. ISBN 1-58113-428-2. Long Beach, CA, USA. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/501449.501451>>. Citado na página 104.

Survey of Routing Protocols for Inter-Vehicle Communications, v. 0. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2006. 1–5 p. ISBN 1-4244-0498-3. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/mobiqw.2006.361764>>. Citado nas páginas 90 e 91.

CHIU, S.; CHAND, S. Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. In: **Fuzzy Systems, 1993., Second IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 1993. p. 1371–1376 vol.2. Citado na página 64.

CHOWDHURY, M.; SADEK, A. **Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning**. Artech House, 2003. (Artech House ITS library). ISBN 9781580531603. Disponível em: <<http://www.google.com.br/books?id=Zut3O7jVliUC>>. Citado na página 29.

CHRISTOPH SOMMER. **Vehicles in Network Simulation**: The open source vehicular network simulation framework. 2018. <<http://veins.car2x.org>>. Author: Christoph Sommer. Disponível em: <<http://veins.car2x.org>>. Acesso em: 18/05/2018. Citado na página 111.

COLESANTI, U. M.; CROCIANI, C.; VITALETTI, A. On the accuracy of omnet++ in the wireless sensor networks domain: simulation vs. testbed. In: **Proceedings of the 4th ACM workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks**. New York, NY, USA: ACM, 2007. (PE-WASUN'07), p. 25–31. ISBN 978-1-59593-808-4. Citado nas páginas 111 e 113.

CONTI, M.; GIORDANO, S. Multihop Ad Hoc Networking: The Theory. **Communications Magazine, IEEE**, v. 45, n. 4, p. 78–86, 2007. Citado na página 43.

CORREA, C.; UEYAMA, J.; MENEGUETTE, R. I.; VILLAS, L. A. VANets: An exploratory evaluation in vehicular ad hoc network for urban environment. In: **IEEE NCA 2014**. Cambridge, MA, USA: [s.n.], 2014. p. 45–49. Citado nas páginas 30, 101, 106, 125, 128, 146, 147, 158 e 179.

CORREA, C.; UEYAMA, J.; MENEGUETTE, R. I.; VILLAS, L. A.; FILHO, G. P. R. Ad hoc vehicular: Exploratory evaluation for vehicular ad hoc network in urban and highway settings. In: **16th IEEE International Symposium on a World of Wireless**,

Mobile and Multimedia Networks (IEEE WoWMoM 2015). Boston, USA: [s.n.], 2015. Citado nas páginas 30, 101, 125, 128, 135, 146, 147, 156, 158, 179 e 180.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. 2018. <<http://www.denatran.gov.br/estatistica>>. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatistica>>. Acesso em: 20/02/2018. Citado nas páginas 29 e 33.

DIVECHA, B.; ABRAHAM, A.; GROSAN, C.; SANYAL, S. Analysis of dynamic source routing and destination-sequenced distance-vector protocols for different mobility models. In: **Modelling Simulation, 2007. AMS '07. First Asia International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 224–229. Citado na página 56.

DORNBUSH, S.; JOSHI, A. Streetsmart traffic: Discovering and disseminating automobile congestion using VANETs. In: **Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 11–15. ISSN 1550-2252. Citado nas páginas 94 e 102.

DRIANKOV, D.; HELLENDORF, H.; REINFRANK, M. **An introduction to fuzzy control**. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 1993. ISBN 9783540563624. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=dNISAAAAMAAJ>>. Citado nas páginas 64 e 77.

DUA, A.; KUMAR, N.; BAWA, S. A systematic review on routing protocols for vehicular ad hoc networks. **Vehicular Communications**, v. 1, n. 1, p. 33–52, 2014. ISSN 2214-2096. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214209614000059>>. Citado nas páginas 35, 105 e 109.

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Possibility theory**. [S.l.]: Plenum Press, New-York, 1988. Citado nas páginas 68, 69 e 71.

DUBOIS, D.; PRADE, H. M. **Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications**. Academic Press, 1980. (Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, vol. 144). ISBN 9780122227509. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=BeBQAAAAMAAJ>>. Citado nas páginas 72 e 82.

DURRESI, M.; DURRESI, A.; BAROLLI, L. Emergency broadcast protocol for inter-vehicle communications. In: **ICPADS (2)**. IEEE Computer Society, 2005. p. 402–406. 2006-02-08. Disponível em: <<https://goo.gl/wwBvoM>>. Citado na página 58.

DUTTA, S. Fuzzy logic applications: Technological and strategic issues. **Engineering Management, IEEE Transactions on**, v. 40, n. 3, p. 237–254, ago. 1993. ISSN 0018-9391. Citado na página 64.

ERDMANN, J. Lane-changing model in SUMO. In: **SUMO2014**. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 2014. (Reports of the DLR-Institute of Transportation Systems Proceedings, v. 24), p. 77–88. Disponível em: <<https://elib.dlr.de/89233/>>. Citado na página 113.

FAHMY, M. F.; RANASINGHE, D. N. Discovering automobile congestion and volume using VANETs. In: **ITS Telecommunications, 2008. ITST 2008. 8th International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 367–372. Citado nas páginas 95 e 102.

FONSECA, E.; FESTAG, A. A survey of existing approaches for secure ad hoc routing and their applicability to VANETS. **NEC Network Laboratories**, Citeseer, 2006. Citado na página 92.

FUKUMOTO, J.; SIROKANE, N.; ISHIKAWA, Y.; WADA, T.; OHTSUKI, K.; OKADA, H. Analytic method for real-time traffic problems by using contents oriented communications in VANET. In: **Telecommunications, 2007. ITST '07. 7th International Conference on ITS**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–6. Citado nas páginas 94 e 102.

GARFINKEL, S.; SPAFFORD, G.; SCHWARTZ, A. **Practical UNIX and Internet Security**. 3rd edition. ed. O'Reilly Media, 2003. 988 p. (NIST special publication: Computer security). ISBN 978-0-596-00323-4. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=t0IExLP-MPMC>>. Citado na página 116.

GeoNet project. **Final GeoNet Architecture Design**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.geonet-project.eu/?download=GeoNet-D.1.2-v1.2.pdf>>. Citado na página 51.

GIRINATH, D. R.; SELVAN, S. A novel cluster based routing algorithm for hybrid mobility model in VANET. **International Journal of Computer Applications**, v. 1, n. 15, p. 32–39, 2010. Published By Foundation of Computer Science. Citado na página 55.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHHEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. **Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress/Tutorials - IFSA95**, p. 01–38, jul 1995. Citado nas páginas 31, 70 e 72.

HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, K. P. A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 46, n. 6, p. 164–171, June 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4539481>>. Citado nas páginas 30, 31, 44, 45, 60 e 92.

HU, S.; WU, J.; XU, L. Real-time traffic congestion detection based on video analysis. **Journal of Information & Computational Science**, v. 9, p. 2907–2914, 10 2012. Citado na página 36.

HUBAUX, J.-P.; ČAPKUN, S.; LUO, J. The security and privacy of smart vehicles. **IEEE Security and Privacy**, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 2, n. 3, p. 49–55, May 2004. ISSN 1540-7993. May. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MSP.2004.26>>. Citado na página 92.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing In Science & Engineering**, IEEE COMPUTER SOC, 10662 LOS VAQUEROS CIRCLE, PO BOX 3014, LOS ALAMITOS, CA 90720-1314 USA, v. 9, n. 3, p. 90–95, May-Jun 2007. Citado na página 87.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Architecture**. 2013. 1-77 p. <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6576805>>. Date of Publication: 8 Aug. 2013. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6576803>>. Acesso em: 12/09/2018. Citado nas páginas 30, 31, 46, 47, 49 e 139.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. **MANET Working Group**. 2018. <<https://datatracker.ietf.org/doc/charter-ietf-manet/>>. February 2018. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/charter-ietf-manet/>>. Acesso em: 22/02/2018. Citado na página 31.

JIANG, D.; DELGROSSI, L. IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: **VTC Spring**. IEEE, 2008. p. 2036–2040. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/vtc/vtc2008s.html%23JiangD08>>. Citado nas páginas 30, 48, 49, 50 e 51.

JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: **Mobile Computing**. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 153–181. Citado na página 56.

KARAGIANNIS, G.; ALTINTAS, O.; EKICI, E.; HEIJENK, G.; JARUPAN, B.; LIN, K.; WEIL, T. Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, v. 13, n. 4, p. 584–616, 2011. ISSN 1553-877X. Citado nas páginas 30, 49, 50 e 139.

KARP, B.; KUNG, H. T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In: **Proceedings of the sixth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)**. New York, NY, USA: ACM, 2000. (MobiCom'00), p. 243–254. ISBN 1-58113-197-6. Boston, Massachusetts, USA. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/345910.345953>>. Citado na página 58.

KIM, T.; HONG, W.; KIM, H. An effective multi-hop broadcast in vehicular ad-hoc network. In: LUKOWICZ, P.; THIELE, L.; TRÖSTER, G. (Ed.). **Architecture of Computing Systems - ARCS 2007, 20th International Conference, Zurich, Switzerland, March 12-15, 2007, Proceedings**. Springer, 2007. (Lecture Notes in Computer Science, v. 4415), p. 112–125. ISBN 978-3-540-71267-1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-71270-1_9>. Citado na página 103.

KIM, T.; HONG, W.; KIM, H.; LEE, Y. An effective data dissemination in vehicular ad-hoc network. In: VAZÃO, T. M.; FREIRE, M. M.; CHONG, I. (Ed.). **Information Networking. Towards Ubiquitous Networking and Services, International Conference, ICOIN 2007, Estoril, Portugal, January 23-25, 2007. Revised Selected Papers**. Springer Berlin Heidelberg, 2008. (Lecture Notes in Computer Science, v. 5200), p. 295–304. ISBN 978-3-540-89523-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-89524-4_30>. Citado nas páginas 103 e 108.

KIMURA, B. Y. L.; GUARDIA, H. C. TIPS: wrapping the sockets api for seamless ip mobility. In: ACM. **Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing**. New York, NY, USA: ACM, 2008. (SAC'08), p. 1940–1945. ISBN 978-1-59593-753-7. Fortaleza, Ceara, Brazil. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1364154>>. Citado na página 41.

KLIR, G. J.; FOLGER, T. A. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1988. ISBN 9780133459845. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=yORQAAAAMAAJ>>. Citado nas páginas 31, 64 e 68.

- KNORR, F.; SCHRECKENBERG, M. Influence of inter-vehicle communication on peak hour traffic flow. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 6, p. 2225 – 2231, 2012. ISSN 0378-4371. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437111008624>>. Citado nas páginas 96 e 102.
- KORKMAZ, G.; EKICI, E.; ÖZGÜNER, F.; ÖZGÜNER, U. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. In: LABERTEAUX, K. P.; SENGUPTA, R.; CHUAH, C.-N.; JIANG, D. (Ed.). **Vehicular Ad Hoc Networks**. ACM, 2004. p. 76–85. ISBN 1-58113-922-5. 2006-04-26. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mobicom/vanet2004.html%23KorkmazEOO4>>. Citado na página 58.
- KRAJZEWICZ, D.; ERDMANN, J.; BEHRISCH, M.; BIEKER, L. Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. **International Journal On Advances in Systems and Measurements**, v. 5, n. 3&4, p. 128–138, December 2012. December. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/80483/>>. Citado nas páginas 111, 113 e 114.
- KRAJZEWICZ, D.; HERTKORN, G.; RÖSSEL, C.; WAGNER, P. SUMO (simulation of urban mobility) - an open-source traffic simulation. In: AL-AKAIDI, A. (Ed.). **4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling**. [s.n.], 2002. p. 183–187. LIDO-Berichtsjahr=2004,. Disponível em: <<http://elib.dlr.de/6661/>>. Citado na página 113.
- KUMUTHINI, C.; KUMARI, P. K. Article: A survey of reputable and dissemination protocol in VANET. **International Journal of Computer Applications**, v. 72, n. 19, p. 8–14, 2013. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA. Citado nas páginas 57 e 58.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down**. Trad. 5 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2010. Citado na página 45.
- LAKAS, A.; CHEQFAH, M. Detection and dissipation of road traffic congestion using vehicular communication. In: **Microwave Symposium (MMS), 2009 Mediterranean**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–6. Citado nas páginas 96 e 102.
- LAN/MAN STANDARDS COMMITTEE. **IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications and Information Exchange Between Systems — Local and Metropolitan Area Networks — Specific Requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments**. New York, NY, USA: IEEE, 2010. 1–51 p. Jul. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5514475>>. Citado na página 116.
- LEEN, G.; HEFFERNAN, D. Expanding automotive electronic systems. **Computer**, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 35, n. 1, p. 88–93, 2002. ISSN 0018-9162. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/2.976923>>. Citado na página 42.
- LI, F.; WANG, Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. **Vehicular Technology Magazine, IEEE**, v. 2, n. 2, p. 12–22, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MVT.2007.912927>>. Citado nas páginas 31, 32, 57, 59 e 91.

LIN, Y.; CHEN, Y.; LEE, S. Routing protocols in vehicular ad hoc networks: A survey and future perspectives. **J. Inf. Sci. Eng.**, v. 26, n. 3, p. 913–932, 2010. Disponível em: <http://www.iis.sinica.edu.tw/page/jise/2010/201005_12.html>. Citado nas páginas 53 e 55.

LIU, G.; LEE, B.-S.; SEET, B.-C.; FOH, C. H.; WONG, K. J.; LEE, K.-K. A routing strategy for metropolis vehicular communications. In: KAHNG, H.-K. (Ed.). **ICOIN**. Springer, 2004. (Lecture Notes in Computer Science, v. 3090), p. 134–143. ISBN 3-540-23034-3. Disponível em: <<https://goo.gl/SnKDzA>>. Citado na página 58.

LOCHERT, C.; HARTENSTEIN, H.; TIAN, J.; FUSSLER, H.; HERMANN, D.; MAUVE, M. A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments. In: **Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE**. [s.n.], 2003. p. 156–161. ISBN 0-7803-7848-2. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1212901>. Citado nas páginas 33 e 58.

LOCHERT, C.; MAUVE, M.; FÜSSLER, H.; HARTENSTEIN, H. Geographic routing in city scenarios. **Mobile Computing and Communications Review**, v. 9, n. 1, p. 69–72, 2005. 2006-02-09. Disponível em: <<https://goo.gl/45vLQE>>. Citado na página 58.

LU, H.; POELLABAUER, C. Analysis of application-specific broadcast reliability for vehicle safety communications. In: **ACM MobiCom**. ACM, 2011. (VANET '11), p. 67–72. ISBN 978-1-4503-0869-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2030698.2030709>>. Citado na página 61.

MAIA, G.; AQUINO, A. L. L.; VIANA, A.; BOUKERCHE, A.; LOUREIRO, A. A. F. HyDi: A hybrid data dissemination protocol for highway scenarios in vehicular ad hoc networks. In: **Proceedings of the Second ACM International Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (DIVANet'12), p. 115–122. ISBN 978-1-4503-1625-5. Paphos, Cyprus. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2386958.2386976>>. Citado na página 104.

MAIA, G.; VILLAS, L. A.; BOUKERCHE, A.; VIANA, A. C.; AQUINO, A. L. L. de; LOUREIRO, A. A. F. Data dissemination in urban vehicular ad hoc networks with diverse traffic conditions. In: **ISCC'13**. [S.l.]: IEEE, 2013. p. 459–464. Citado nas páginas 35, 100, 111 e 113.

Geocast in vehicular environments: caching and transmission range control for improved efficiency. 951–956 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/IVS.2004.1336514>>. Citado na página 58.

MAIHÖFER, C.; LEINMÜLLER, T.; SCHOCH, E. Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks. In: LABERTEAUX, K. P.; HARTENSTEIN, H.; JOHNSON, D. B.; SENGUPTA, R. (Ed.). **Vehicular Ad Hoc Networks**. ACM, 2005. p. 20–29. ISBN 1-59593-141-4. 2007-12-21. Disponível em: <<https://goo.gl/TrvH3F>>. Citado na página 58.

MALLAPUR, S. V.; PATIL, S. . R. Survey on simulation tools for mobile ad-hoc networks. **International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC)**, v. 2, n. 2, p. 241–248, April 2012. ISSN 2250-3501. Disponível em: <<http://www.ijcnwc.org/papers/vol2no22012/22vol2no2.pdf>>. Acesso em: January, 2015. Citado nas páginas 111 e 112.

MALTZ, D. A.; BHAGWAT, P. MSOCKS: An architecture for transport layer mobility. In: **INFOCOM**. [S.l.: s.n.], 1998. p. 1037–1045. Citado na página 41.

MAMDANI, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. **IEEE Transactions on Computers**, C-26, n. 12, p. 1182–1191, Dec 1977. ISSN 0018-9340. Citado nas páginas 76, 121 e 156.

MARTINEZ, F. J.; TOH, C. K.; CANO, J.-C.; CALAFATE, C. T.; MANZONI, P. A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs). **Wirel. Commun. Mob. Comput.**, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK, v. 11, n. 7, p. 813–828, jul. 2011. ISSN 1530-8669. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/wcm.859>>. Citado na página 112.

MATEUS, G.; LOUREIRO, A. **Introdução a computação móvel**. DCC/IM, COPPE/UFRJ, 1998. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=TmhTGwAACAAJ>>. Citado na página 41.

MEDEIROS, M. V. B.; SALLES, R. M. Graduação, **Tolerantes a Atrasos e Desconexões em Sistemas de Comunicações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. 20 p. Monografias em Sistemas e Computação. Disponível em: <<https://goo.gl/h3YR6d>>. Acesso em: 02/04/2018. Citado na página 41.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of the IEEE**, v. 83, n. 3, p. 345–377, Mar 1995. ISSN 0018-9219. Citado nas páginas 72 e 82.

MENEGUETTE, R. I.; BOUKERCHE, A.; MAIA, G.; LOUREIRO, A. A. F.; VILLAS, L. A. A Self-adaptive Data Dissemination Solution for Intelligent Transportation Systems. In: **11th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor & Ubiquitous Networks (PE-WASUN'14)**. [S.l.]: ACM, 2014. p. 69–76. ISBN 978-1-4503-3025-1. Citado nas páginas 35 e 106.

MENEGUETTE, R. I.; FILHO, G. P. R.; GUIDONI, D. L.; PESSIN, G.; VILLAS, L. A.; UYAMA, J. Increasing Intelligence in Inter-Vehicle Communications to Reduce Traffic Congestions: Experiments in Urban and Highway Environments. **PLOS ONE**, PLOS, v. 11, n. 8, p. e0159110, August 2016. ISSN 1932-6203. Citado nas páginas 29, 35, 71, 100, 102, 108, 135 e 156.

MENEGUETTE, R. I.; MAIA, G.; MADEIRA, E. R. M.; LOUREIRO, A. A. F.; VILLAS, L. A. Autonomic data dissemination in highway vehicular ad hoc networks with diverse traffic conditions. In: **ISCC 2014**. [S.l.: s.n.], 2014. Citado nas páginas 61, 107, 108, 110, 111, 135, 138, 147, 150 e 156.

MENEGUETTE, R. I.; MAIA, G.; MADEIRA, E. R. M.; PINTO, A. R.; LOUREIRO, A. A. F.; VILLAS, L. A. Um algoritmo autônomo para disseminação de informações em redes veiculares. In: **SBRC'14**. Fpólis, Brazil: [s.n.], 2014. Citado nas páginas 61 e 107.

MIXIM PROJECT. **MiXiM**. 2018. <<http://mixim.sourceforge.net/>>. Disponível em: <<http://mixim.sourceforge.net/>>. Acesso em: 15/08/2017. Citado na página 114.

MOHAMMAD, S. A.; RASHEED, A.; QAYYUM, A. VANET architectures and protocol stacks: a survey. In: **Proceedings of the Third international conference on Communication technologies for vehicles**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.

(Nets4Cars/Nets4Trains'11), p. 95–105. ISBN 978-3-642-19785-7. Oberpfaffenhofen, Germany. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1987310.1987322>>. Citado nas páginas 31, 50 e 51.

MORRIS, R.; JANNOTTI, J.; KAASHOEK, F.; LI, J.; DECOUTO, D. CarNet: A scalable ad hoc wireless network system. In: **Proceedings of the 9th Workshop on ACM SIGOPS European Workshop: Beyond the PC: New Challenges for the Operating System**. New York, NY, USA: ACM, 2000. (EW 9), p. 61–65. Kolding, Denmark. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/566726.566741>>. Citado na página 93.

MOUSTAFA, H.; ZHANG, Y. **Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications**. Boston, MA, USA: Auerbach Publications, 2009. ISBN 1420085719, 9781420085716. Citado na página 32.

MSADAA, I. Chammakhi; CATALDI, P.; FILALI, F. A Comparative Study between 802.11p and Mobile WiMAX-based V2I Communication Networks. In: **NGMAST 2010, 4th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 26th-29th July, 2010, Amman, Jordan**. Amman, JORDAN: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.eurecom.fr/publication/3128>>. Citado nas páginas 46 e 49.

NADEEM, T.; DASHTINEZHAD, S.; LIAO, C.; IFTODE, L. Trafficview: Traffic data dissemination using car-to-car communication. **SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.**, ACM, New York, NY, USA, v. 8, n. 3, p. 6–19, jul. 2004. ISSN 1559-1662. <<http://www.cs.rutgers.edu/~iftode/tv04.pdf>>. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1031483.1031487>>. Citado na página 35.

NAMBOODIRI, V.; AGARWAL, M.; GAO, L. A study on the feasibility of mobile gateways for vehicular ad-hoc networks. In: **Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks**. New York, NY, USA: ACM, 2004. (VANET'04), p. 66–75. ISBN 1-58113-922-5. Philadelphia, PA, USA. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1023875.1023886>>. Citado na página 58.

NANDAN, A.; DAS, S.; PAU, G.; GERLA, M.; SANADIDI, M. Y. Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks. In: **WONS**. IEEE Computer Society, 2005. p. 32–41. ISBN 0-7695-2292-0. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/wons/wons2005.html%23NandanDPGS05>>. Citado na página 92.

NEGNEVITSKY, M. **Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems**. 3rd. ed. China: China Machine Press, 2011. ISBN 1408225743, 9781408225745. Citado nas páginas 72, 77, 82 e 156.

OOI, C. C.; FISAL, N. Implementation of geocast-enhanced AODV-bis routing protocol in MANET. **Proceedings of the IEEE Region 10 Conference**, v. 2, p. 660–663, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/zXpBqB>>. Acesso em: October 2013. Citado na página 58.

PADRON, F. M. **Traffic Congestion Detection Using VANET**. BiblioBazaar, 2011. ISBN 9781243403247. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=xkVgpwAACAAJ>>. Citado nas páginas 94, 95 e 102.

PERKINS, C. E.; BHAGWAT, P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, ACM, New York, NY, USA, v. 24, n. 4, p. 234–244, out. 1994. ISSN 0146-4833. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/190809.190336>>. Citado na página 56.

PERKINS, C. E.; ROYER, E. M. Ad-hoc on-demand distance vector routing. In: **Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on**. [S.l.: s.n.], 1999. p. 90–100. ISBN 0-7695-0025-0. Citado na página 56.

POPESCU, O.; SHA-MOHAMMAD, S.; ABDEL-WAHAB, H.; POPESCU, D. C.; EL-TAWAB, S. Automatic incident detection in intelligent transportation systems using aggregation of traffic parameters collected through V2I communications. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, IEEE, v. 9, n. 2, p. 64–75, April 2017. ISSN 1939-1390. Citado na página 114.

PROCEEDINGS of IEEE International Conference on Communications, ICC 2013, Budapest, Hungary, June 9-13. IEEE, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6637584>>. Nenhuma citação no texto.

PROCEEDINGS of the SUMO2017: Towards Simulation for Autonomous Mobility: May 08-10, 2017, Berlin-Adlershof. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2017. (Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik). Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=cvuQtgEACAAJ>>. Citado na página 113.

RADA-VILELA, J. fuzzylite: A fuzzy logic control library in c++. In: WWW.FUZZYLITE.COM. **Proceedings of the Open Source Developers Conference**. [S.l.], 2013. Citado nas páginas 115 e 117.

_____. **fuzzylite: a fuzzy logic control library**. 2018. <<http://www.fuzzylite.com>>. Disponível em: <<http://www.fuzzylite.com>>. Acesso em: 15/08/2018. Citado nas páginas 111, 115, 157 e 183.

RASHEED, A.; ZIA, H.; HASHMI, F.; HADI, U.; NAIM, W.; AJMAL, S. Fleet & convoy management using VANET. **Journal of Computer Networks**, Science and Education Publishing, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2013. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/jcn/1/1/1>>. Citado nas páginas 51 e 52.

ROZAS-RAMALLAL, I.; FERNANDEZ-CARAMES, T.; DAPENA, A.; GARCIA-NAYA, J. A. Evaluation of H.264/AVC over IEEE 802.11p vehicular networks. **EURASIP Journal on Advances in Signal Processing**, v. 2013, n. 1, p. 77, 2013. ISSN 1687-6180. Disponível em: <<http://asp.erasipjournals.com/content/2013/1/77>>. Citado nas páginas 42 e 49.

SAHA, A. K.; JOHNSON, D. B. Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks. In: **VANET'04: Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks**. New York, NY, USA: ACM, 2004. (VANET'04), p. 91–92. ISBN 1-58113-922-5. Philadelphia, PA, USA. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1023892>>. Citado na página 57.

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**. ITA, São José dos Campos - SP: Conselho Nacional de Redes Neurais, 1999. c073-c090 p. <<http://www.ele.ita.br/cnrrn/minicursos-5ern/log-neb.pdf>>. Sociedade Brasileira de Redes Neurais - SBRN/ITA.

Disponível em: <<http://www.ele.ita.br/cnrn/minicursos-5ern/log-neb.pdf>>. Acesso em: 15/08/2018. Citado nas páginas 63, 64, 68, 70, 71 e 73.

SANTOS, R. A.; EDWARDS, A.; EDWARDS, R.; SEED, L. Performance evaluation of routing protocols in vehicular adhoc networks. **The International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing**, v. 1, n. 1/2, p. 80–91, 2005. Citado na página 58.

SCHWARTZ, R. S.; BARBOSA, R. R. R.; MERATNIA, N.; HEIJENK, G.; SCHOWLTEN, H. A directional data dissemination protocol for vehicular environments. **Computer Communications**, v. 34, n. 17, p. 2057–2071, 2011. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366411001010>>. Citado nas páginas 104, 105 e 108.

SECURITY SUBGROUP OF BBCR LAB. **Security and Privacy in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)**. 2018. <http://bbcr.uwaterloo.ca/SubGroup/security_bbcr/img/VANET.jpg>. Disponível em: <http://bbcr.uwaterloo.ca/SubGroup/security_bbcr/img/VANET.jpg>. Acesso em: 20/12/2018. Citado na página 43.

SIMULCRAFT INC. **OMNeT++ Discrete Event Simulator**. 2018. <<http://www.omnetpp.org/>>. Disponível em: <<http://www.omnetpp.org/>>. Acesso em: 28/05/2018. Citado nas páginas 111 e 113.

SOMMER, C.; DRESSLER, F. Progressing toward realistic mobility models in VANET simulations. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 46, n. 11, p. 132–137, 2008. November. Citado na página 114.

SOMMER, C.; ECKHOFF, D.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. A Computationally Inexpensive Empirical Model of IEEE 802.11p Radio Shadowing in Urban Environments. In: **8th IEEE/IFIP Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS 2011)**. Bardonecchia, Italy: IEEE, 2011. p. 84–90. Citado na página 146.

SOMMER, C.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, IEEE, v. 10, n. 1, p. 3–15, January 2011. Citado nas páginas 111 e 114.

SOMMER, C.; JOERER, S.; DRESSLER, F. On the applicability of two-ray path loss models for vehicular network simulation. In: **4th IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2012)**. Seoul, Korea: IEEE, 2012. p. 64–69. Citado nas páginas 119 e 120.

SOMMER, C.; YAO, Z.; GERMAN, R.; DRESSLER, F. On the need for bidirectional coupling of road traffic microsimulation and network simulation. In: **In 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (ACM Mobihoc 2008): 1st ACM International Workshop on Mobility Models for Networking Research (MobilityModels'08)**. [S.l.]: ACM, 2008. p. 41–48. Citado na página 114.

SOUZA, A. B.; BARROS, A. L. B. d. P.; VIEIRA, A. S. d. S.; ROBERTO, F. M.; JR, J. C. An adaptive mechanism for access control in VANETs. In: **Proceedings of ICN 2011, The Tenth International Conference on Networks**. St. Maarten, The Netherlands Antilles: The Tenth International Conference on Networks - ICN, January 23-28, 2011, 2011. p. 183 – 188. ISBN 978-1-61208-113-7. Copyright (c) IARIA, 2011. Citado nas páginas 49 e 51.

SUN, M.-T.; FENG, W. chi; LAI, T.-H.; YAMADA, K.; OKADA, H.; FUJIMURA, K. GPS-Based message broadcasting for inter-vehicle communication. In: **ICPP**. [s.n.], 2000. p. 279–. 2002-01-03. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/icpp/icpp2000.html%23SunFLYOF00>>. Citado na página 58.

TAHA, M. M. I.; HASAN, Y. M. Y. VANET-DSRC protocol for reliable broadcasting of life safety messages. In: **ISSPIT 2007**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 104–109. Citado nas páginas 32, 35 e 36.

Broadcasting in VANET. 7-12 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/move.2007.4300825>>. Citado nas páginas 54, 56, 60 e 104.

TONGUZ, O. K.; WISITPONGPHAN, N.; BAI, F. DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. **Wireless Communications, IEEE**, v. 17, n. 2, p. 47–57, April 2010. ISSN 1536-1284. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2010.5450660>>. Citado nas páginas 104 e 108.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Vehicle Safety Communications Project - Final Report**. [S.l.], 2006. Disponível em: <<https://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2006/Vehicle%20Safety%20Communications%20Project%20-%20Final%20Report.pdf>>. Acesso em: 01/09/2018. Citado na página 90.

UZCÁTEGUI, R. A.; ACOSTA-MARUM, G. Wave: A tutorial. **Comm. Mag.**, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 47, n. 5, p. 126–133, maio 2009. ISSN 0163-6804. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2009.4939288>>. Citado na página 49.

VARGA, A.; HORNIG, R. An overview of the OMNeT++ simulation environment. In: **Simutools'08: Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops**. ICST, Brussels, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. p. 1–10. ISBN 978-963-9799-20-2. Marseille, France. Citado na página 113.

VILLAS, L. A.; BOUKERCHE, A.; ARAUJO, R. B. de; LOUREIRO, A. A. F.; UYAMA, J. Network partition-aware geographical data dissemination. In: **ICC 2013, Budapest, Hungary**. IEEE, 2013. p. 1439–1443. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/ICC.2013.6654713>>. Citado nas páginas 34, 106, 138 e 141.

VILLAS, L. A.; BOUKERCHE, A.; MAIA, G.; PAZZI, R. W.; LOUREIRO, A. A. F. DRIVE: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. **Computer Networks**, Elsevier, p. 1439–1443, Jan 2014. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614003673>>. Citado nas páginas 34, 35, 61, 107, 128, 146 e 156.

VILLAS, L. A.; RAMOS, H. S.; BOUKERCHE, A.; GUIDONI, D. L.; ARAUJO, R. B.; LOUREIRO, A. A. F. An efficient and robust data dissemination protocol for vehicular ad hoc networks. In: **PE-WASUN'12**. New York, NY, USA: ACM, 2012. p. 39–46. ISBN 978-1-4503-1621-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2387027.2387035>>. Citado nas páginas 100, 103, 105, 106, 108, 111, 126, 138, 150 e 156.

VINAYAKRAY-JANI, P.; SANYAL, S. Routing protocols for mobile and vehicular ad-hoc networks: A comparative analysis. **CoRR**, abs/1206.1918, 2012. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/corr/corr1206.html%23abs-1206-1918>>. Citado na página 56.

WANG, L.-X.; MENDEL, J. M. Generating fuzzy rules by learning from examples. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 22, n. 6, p. 1414–1427, Nov 1992. ISSN 0018-9472. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/tsmc/tsmc22.html%23WangM92>>. Citado nas páginas 31 e 121.

WEIL, H. G.; PROBST, G.; GRAF, F. Fuzzy expert system for automatic transmission control. In: **Control Applications, 1992., First IEEE Conference on**. [S.l.: s.n.], 1992. p. 716–721 vol.2. Citado na página 64.

WISITPONGPHAN, N.; TONGUZ, O. K.; PARIKH, J. S.; MUDALIGE, P.; BAI, F.; SADEKAR, V. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. **Wireless Commun.**, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 14, n. 6, p. 84–94, Dec 2007. ISSN 1536-1284. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2007.4407231>>. Citado na página 104.

WU, H.; FUJIMOTO, R.; GUENSLER, R.; HUNTER, M. MDDV: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. In: LABERTEAUX, K. P.; SENGUPTA, R.; CHUAH, C.-N.; JIANG, D. (Ed.). **Vehicular Ad Hoc Networks**. New York, NY, USA: ACM, 2004. (VANET'04), p. 47–56. ISBN 1-58113-922-5. Philadelphia, PA, USA. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mobicom/vanet2004.html%23WuFGH04>>. Citado na página 92.

WU, L.; NIE, L.; FAN, J.; HE, Y.; LIU, Q.; WU, D. An efficient multi-hop broadcast protocol for emergency messages dissemination in VANETs. **Chinese Journal of Electronics**, IET, v. 26, n. 3, p. 614–623, May 2017. ISSN 1022-4653, 2075-5597. Citado na página 114.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338–353, 1965. Citado nas páginas 36, 63, 65, 72 e 121.

_____. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. **Fuzzy Sets Syst**, Elsevier North-Holland, Inc., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 100, p. 9–34, apr 1999. ISSN 0165-0114. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=310817.310820>>. Citado nas páginas 31, 36, 63, 69, 70, 76, 79 e 120.

ZHAO, J. Z.; CAO, G. C. **VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks**. 2008. 1910–1922 p. Disponível em: <<http://mcn.cse.psu.edu/paper/jizhao/infocom06.pdf>>. Acesso em: October 2013. Citado na página 92.

GLOSSÁRIO

Ad hoc É uma expressão do *Latim* que significa "para isso", "para o propósito específico" ou "improvisado, de improviso". Rede *ad hoc*, tipicamente se refere a um sistema de elementos que interagem para formar uma rede. Essa formação requer pouca ou nenhuma infraestrutura. 11, 13, 21, 23, 24, 30, 32, 56, 58, 59

Backbone Provedor de infraestrutura. Representa a infraestrutura que conecta todos os pontos de uma rede. 44, 47

Broadcast É o processo pelo qual se transmite ou difunde determinada informação, onde uma mesma mensagem é enviada simultaneamente para todos os receptores que integram esse sistema. 21, 23, 24, 51, 53, 54, 56–61, 91–96, 98, 102–108, 133, 158

Broadcast storm Condição na qual uma mensagem que foi difundida através da rede é respondida por todos os nós que a recebem e cada resposta origina novas mensagens, criando uma sobrecarga de comunicação. A literatura também referencia como tempestade *broadcast*. Neste documento ambos os termos são utilizadas de forma equivalente 54, 126, 134, 150

Gateway Elemento de ligação. É um intermediário com o propósito de interligar redes (*gateway de rede*), separar domínios de colisão, ou mesmo traduzir protocolos para a respectiva camada de operação. Roteadores, *firewalls* ou mesmo, um *proxy* de aplicação, intermediam a comunicação. 55

Geocast É o endereçamento e roteamento geográfico. Se refere à entrega de informações a um grupo de destinos em uma rede identificada por suas localizações geográficas. Trata-se de uma forma especializada de endereçamento *multicast* utilizada por alguns protocolos de roteamento para redes móveis *ad hoc*. 23, 60, veja também *Multicast*

Handshake Operação entre dois dispositivos, físicos ou lógicos, que permite reconhecer e estabelecer um protocolo para a troca de informações. Processo chamado *three way handshake*, necessário ao estabelecimento de uma conexão em **TCP**, que é realizado através da ativação das *flags syn, syn + ack, ack* no cabeçalho dos segmentos **TCP** para a sincronizar os números de sequência. 58

IPv6 É abreviação de *Internet Protocol version 6* (Protocolo Internet versão 6) e corresponde ao sucessor do IPv4, mas no IPv6, os endereços são representados por números de 128 bits. Um protocolo consiste num conjunto de regras que permitem a comunicação entre dispositivos. O *Protocolo Internet (IP)*, foi criado para permitir a comunicação entre diferentes redes de computadores. Se compararmos o endereço IP com o endereço de uma casa, com a adoção do IPv6 será como se todas as casas ganhassem um número novo, mas diferente do antigo. 51

Latência Mede o tempo necessário para uma mensagem ir a um destino e voltar deste. Esta informação também é conhecida por *RTT (Round Trip Time)*. A latência aumenta de acordo com a distância e a qualidade do caminho que precisa ser percorrido. Pode sofrer influência de congestionamentos (há "fila" nos equipamentos) na infraestrutura da operadora. 42, 51, 90, 92

Multicast Corresponde a uma forma limitada de *broadcast* onde um pacote é encaminhado para um grupo, definido previamente por meio de endereço específico de destinos de todos os destinos possíveis. 22, 23, 53–57, 59, 60, 91, 93, 96, veja também *Broadcast*

Multihop Nesta operação os dados são propagados em múltiplos saltos, de um nó a outro, até alcançar seu destino. O *multihop* possibilita a redução do consumo de energia na transmissão, pois evita que todos os nós da rede precisem transmitir informações diretamente ao nó de destino. Em vez disso, os nós só precisam realizar transmissões aos seus vizinhos. 11, 13, 21, 23, 24, 43, 57, 58, 60, 92, 93, 98, 104, 119

Sybil attack É o ataque que acontece quando um único *hardware assume* diferentes identidades em uma rede, assim o atacante subverte o sistema de reputação. Baseia-se no fato de que é praticamente impossível, em sistemas computacionais distribuídos, que nós que se desconhecem apresentem identidades distintas irrefutáveis. 93

Throughput Trata-se de uma métrica que representa a taxa de transferência. Representa a quantidade de dados transferidos (ou processados) de um lugar a outro em um determinado intervalo de tempo. 97

Unicast A comunicação, neste caso, ocorre entre um único remetente e um único destinatário por meio da utilização dos endereços específicos dos dispositivos de origem e destino. 53, 54, 56, 57, 59, 60, 90, 91, 93, veja também *Multicast*

WiFi é uma tecnologia formada por um conjunto de especificações baseada no padrão IEEE 802.11 para redes locais sem fio (*WLAN*). 46, 47, 178

PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Em atenção às observações relacionadas com as citações aos resultados parciais apresentadas no texto, neste apêndice são identificadas as produções já publicadas em veículo de divulgação científica, conforme estabelecido com o cronograma¹ inicial proposto para o desenvolvimento desta tese.

Em um primeiro enfrentamento, foi conduzida uma avaliação exploratória para caracterizar as soluções produzidas com um conjunto de diferentes estratégias de disseminação de dados em VANET, todas selecionadas da literatura já consolidada. As considerações comparativas, estabelecidas por meio da associação das análises oriundas de simulações, acomodam registros atrelados aos desafios percebidos particularmente nas operações implicadas frente ao ambiente urbano (Correa *et al.* (2014)). Estes resultados foram publicados em evento com avaliação definida como **Qualis B1** (*13th International Symposium on Network Computing and Applications - IEEE NCA 2014*), conforme segue ilustrado por meio da primeira página (Figura 55) que compõe o artigo com título VANets: An Exploratory Evaluation in Vehicular Ad Hoc Network for Urban Environment (CORREA *et al.*, 2014).

Em momento subsequente, respeitando a necessidade assim como a motivação de estender a investigação e os direcionamentos proporcionados com as observações da primeira publicação, a atenção adere ao desenvolvimento de uma abordagem análoga, porém mais abrangente, com a intenção de acomodar as particularidades para um contexto urbano e estabelecer os alicerces do enfrentamento aos embarços no cenário de rodovia (Correa *et al.* (2015)). Desta vez, favorecida pela apuração dos resultados iniciais, a discussão alcança detalhamento mais criterioso, que permite a identificação das propriedades de interesse promissoras, para desta forma engatilhar a elaboração da estratégia eFIRST. Este trabalho, Ad hoc Vehicular: Exploratory Evaluation for Vehicular

¹ Cronograma aprovado como parte da avaliação de qualificação.

Ad hoc Network in Urban and Highway Settings (CORREA *et al.*, 2015) conforme reivindica a Figura 56, foi acolhido para publicação junto ao *International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks - IEEE WoWMoM 2015*, que logra avaliação **Qualis A2**.

Figura 55 – Artigo IEEE NCA 2014.

VANets: An Exploratory Evaluation in Vehicular Ad hoc Network For Urban Environment

Claudio Correa*
claudiocorrea@usp.br

Jó Ueyama*
joueyama@icmc.usp.br

Rodolfo I. Meneguette†
meneguette@ifsp.edu.br

Leandro A. Villas‡
leandro@ic.unicamp.br

*Institute of Mathematical and Computer Sciences, University of Sao Paulo, ICMC/USP - Sao Carlos

†Federal Institute of Sao Paulo, CTD/IFSP - Catanduva

‡Institute of Computing, University of Campinas, IC/Unicamp - Campinas

Abstract— Vehicular Ad hoc Network (VANET) is a promising communication technology suitable for vehicular mobile networks. Represent networks of singular features, wherein the data dissemination is fundamental. The literature is plentiful in protocols, usually specific to address individual issues in well-defined scenarios. This work efforts are concentrated, mainly, to examine operating settings in protocols like AID, DBRS, and ADDHV for disseminating messages. A benchmarking explores strategies that address challenges such as network partitioning and the broadcast storm problem, which undertake the dissemination. The results of a set of metrics obtained in different vehicular traffic schemes complete the discussion held. Considerations for answers in coverage, delay, rate of delivery, broadcast, and packet loss support this initiative and motivate the development of an adaptive solution to fluctuations in carrier density.

Keywords—Vehicular ad hoc network, VANET, mobility, adaptive protocols, connectivity, data dissemination strategy, communication between vehicles, vehicular density.

I. INTRODUCTION

Ad hoc Vehicular Network (VANET) is a dedicated branch of mobile ad hoc networks (MANET), with a particular property where the main nodes are vehicles. The ad hoc networks are characterized by operating with wireless technologies, where all nodes are effectively active in the communication process. The VANETs are full of adversity then protrude as an angled segment research to technological innovations required to develop intelligent transportation system (ITS).

Through communications between vehicles applications are designed to mitigate security issues applications to meet the demands for information on conditions of traffic, increase traffic efficiency and to provide comfort and entertainment, etc. [1]. Although relatively small, safety messages require fast and guaranteed access with minimal transmission delay. Information services and entertainment may impose greater load, but are less strict regarding delays. Furthermore, they are required substantial processing and precise determination of the position in applications involving location, while in the traffic management these requirements are moderate [2]. However, changes in the network topology and the vehicular density, due to the mobility of nodes, constitute obstacles to disseminating data in vehicular short-range communication. Factors related to scalability of network size and density of nodes, as well as the high vehicles speeds, adversities are that represent major challenges in VANETs. The connectivity between vehicles can be intermittent in areas where nodes are sparse, which is reflected in the partitioning of the network. In

turn, the data dissemination can be compromised by congestion of the transmission, what literature references as problem of *broadcast storm*, that occurs when multiple nodes compete to transmit simultaneously [3], [4].

The data dissemination is a challenging procedure, first, was treated by broadcasting messages. An initial broadcast promotes the message delivery for vehicles within range of the radio signal. The subsequent indiscriminate relay provides the necessary coverage to more distant vehicles of the area of interest (ROI). However, this basic approach is incapable of dealing properly with problems of *broadcast storm*, along with of low vehicular density and irregular, which lead to partitioning of the network. Characteristically, in these scenarios the density of nodes in the ROI is insufficient, does not make possible necessary infrastructure to the relay of data among neighboring groups of vehicles. Inadvertent about this inconsistency, after the relay that has innocuous effect the messages are discarded due to lack of vehicles to receive them. Several of the questions on VANETs are discussed by the academy [5], [6]. Yet few are developed approaches that address problems jointly as the *broadcast storm* and network partitioning, but that preserves the performance in the data dissemination process. Moreover, it is necessary to deal with the inconsistencies in terms of density of vehicular traffic in different scenarios such as urban and road. In this direction, [7] describes a promising proposal, ADDHV protocol that uses autonomic computing to perform dissemination through a system of proactive decision.

Giving attention to these facts, this foray into design features and settings ADDHV protocol (Fig. 1) are investigated. Various vehicle densities are employed for exploring the effect of these settings in the data dissemination by looking at the consequent delivery rate and its latency, and other relevant metrics. The results of the adjustments applied to ADDHV are faced with the responses of protocols from the literature. The challenge of providing effective responses to questions, still without satisfactory solution in VANET, motivate and sustain this initiative intended to subsequently extend dissemination strategies. Metrics evaluated comparatively provide guidance on operating conditions accommodating responses of greater efficiency. These, along with stratagem of the theory of traffic flow, such as the estimated local density [8], are subsidies for the development of an adaptive strategy to fluctuations in the vehicular density.

This document has been organized so that in the next section (II), we discuss challenges, strategies, and protocols

Figura 56 – Artigo IEEE WoWMoM 2015.

Ad hoc Vehicular: Exploratory Evaluation of a Vehicular *Ad hoc* Network in Urban and Highway Settings

Claudio Correa*, Jó Ueyama*, Rodolfo I. Meneguette[†], Leandro A. Villas[‡] and Geraldo P. R. Filho*

*Institute of Mathematical and Computer Sciences, University of São Paulo, ICMC/USP - São Carlos

[†]Federal Institute of São Paulo, CTD/IFSP - Catanduva

[‡]Institute of Computing, University of Campinas, IC/Unicamp - Campinas

Email: *claudiocorrea@usp.br, *joueyama,geraldop}@icmc.usp.br, †meneguette@ifsp.edu.br, ‡leandro@ic.unicamp.br

Abstract— A Vehicular *Ad hoc* network (VANET) represents a unique subset among mobile *ad hoc* networks (MANET), in which the nodes are vehicles provided with their own communications technology. In this paper, there is a convergence of approaches to meet expectations with regard to examining performance in the operational settings in protocols like AID, DBRS, SRD, and the ADDHV, which are designed to disseminate messages. A comparative evaluation makes it possible to explore the strategies employed by these protocols when faced with challenges such as network partition and the problem of broadcast storm, which can damage the dissemination process. The results shown as a set of metrics obtained in different vehicular traffic schemes complete the investigation.

Keywords—VANET, dissemination adaptive strategy, *ad hoc* challenges, broadcast storm, network partition, vehicular density.

I. INTRODUCTION

A Vehicular *Ad hoc* Network (VANET) is a dedicated derivation of Mobile *Ad hoc* Networks (MANET), in which the main nodes are vehicles. In this particular kind of mobile network, the VANET elements interact to build a spontaneous network, while making use of little or none of the infrastructure that has been previously set up. Since it is essential in VANETs, data dissemination constitutes a challenging proceeding that was at first handled through broadcast messages. In this process, an initial transmission triggers the message delivery for vehicles within the radio signal range interval. The subsequent indiscriminate relay of messages by other nodes, which causes the *flooding* of the region of interest (ROI), provides the necessary coverage for more distant vehicles [1]. However, this basic approach, which is used by protocols designed to perform data broadcasting, is unable to deal properly with *broadcast storm* problems, along with low and irregular vehicular density situations which lead to network partitioning. Characteristically, in these scenarios where the node density in ROI is not enough, it does not provide the right conditions to establish an infrastructure that is able to spread data among neighboring groups of vehicles. After the relay that has an innocuous effect, messages are discarded and therefore lost during partitioning since there is a lack of vehicles to receive them [2]. In addition, it is also necessary to deal with the question of instability when there are conditions of vehicular traffic density in different scenarios, such as the urban environment and on roads, like the approaches adopted by [3], [4]. In this area, [2] describes the ADDHV protocol, which has great potential since it employs autonomic computing to carry out the task of disseminating through a proactive decision support system.

In the light of these facts, this study investigates ways of

setting out the characteristics and operational parameters of the ADDHV protocol. The assessment carried out in this context, (which is at first related to traffic conditions in the urban environment) is the same as that described in [5], after focuses on a typical highway scenario completing this exploration. Thus, with regard to urban and highway scenarios, several vehicular densities require an exploration of the effect of these parameters on their ability to disseminate data. From this perspective, when making an appropriate assessment, it is necessary to observe the resulting delivery rate and respective latency, as well as other metrics relevant to the process. The results of the adjustments applied to the ADDHV protocol are compared with the results of other protocols addressed in the literature. The challenge of effectively addressing issues, that still lack a satisfactory solution and which are related to data dissemination in VANET, have acted as a driving-force behind the aim to extend the dissemination strategies, such as the one used in ADDHV (Fig. 1), to arrive at an adaptable approach. The metrics, which have been obtained from a comparative evaluation in this work, provide guidance in operational conditions which can accommodate more effective responses. These answers, combined with technical artifices of traffic flow theory, such as the local density estimation [3] and the qualitative representation of through *fuzzy* logic [4], can assist in the development of an adaptable strategy for fluctuations in vehicular density.

This article is structured in the following way. In Section II there is a discussion of the literature solutions for data dissemination in VANET. Section III analyzes the methodology and results of the performance evaluation. Finally, Section IV summarizes the conclusions and suggestions for future work.

II. RELATED WORK

VANETs are networks employed in a wide range of wireless communication technologies. In this article the vehicular nodes use IEEE 802.11p standard as a protocol for communication in lower layers. The VANETs comprise two main modes of communication, vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I). In this second category, the protocols required the availability of a set of highway infrastructure resources to sustain data dissemination. Currently, V2V communication protocols do not need any previously established infrastructure, and the vehicular communication is only established in a *ad hoc* mode [6].

In current circumstances, *flooding* is the most rudimentary routing approach for data dissemination. In this situation, a node propagates its data to all the neighbors within its reach. These vehicles store and forward these data for their

SISTEMA *FUZZY*: LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO (FIS) PARA UM EXEMPLO ILUSTRATIVO

Os conceitos sintetizados e apresentados no [Capítulo 4](#) para introduzir as componentes discutidas na [Seção 4.2](#) envolvem a clara representação dos termos linguísticos, operações, funções de pertinência e suas associações, premissas e conclusões, induzindo a necessidade de agregar todas essas particularidades por meio de uma linguagem apropriada ao contexto. A biblioteca *FuzzyLite* ([RADA-VILELA, 2018](#)) admite múltiplos formatos de descrição, entre os quais se encontra a linguagem FIS, frequentemente adotada por se caracterizar com a capacidade de permitir alguma mobilidade entre diferentes bibliotecas, conferindo versatilidade.

A linguagem FIS, projetada para descrever um sistema de inferência *fuzzy* completo proporciona uma portabilidade estreita, mas suficiente, mesmo sem se esgotar em especificações. Essa conformidade atende as expectativas de utilização com diferentes ferramentas (GUI) para conferir produtividade na elaboração da estrutura e da lógica de operação dos sistemas de decisão *fuzzy*.

Para acomodar mais detalhes de construção com a linguagem, o [Algoritmo 14](#) promove um conjunto reduzido de sentenças, mas razoável para a elaboração de uma descrição como ilustração. O conjunto de instruções em FIS é processado com a biblioteca *FuzzyLite* para a obtenção do código em linguagem C++, como no [Algoritmo 15](#), para só assim possibilitar a integração com os demais elementos do arcabouço de simulação.

Algoritmo 14 - Linguagem de descrição do sistema de inferência *fuzzy* FIS.

```

1: [System]
2: Name='sample'
3: Type = 'mamdani'
4: NumInputs = 2
5: NumOutputs = 1
6: NumRules = 16
7: AndMethod = 'min'
8: OrMethod = 'max'
9: ImpMethod = 'min'
10: AggMethod = 'max'
11: DefuzzMethod = 'centroid'
12:
13: [Input1]
14: Name = 'density'
15: Range = [0.000 1.000]
16: NumMFs = 4
17: MF1='low': 'trapmf ', [0.000 0.000 0.150 0.300]
18: MF2='medium': 'trimf ', [0.200 0.350 0.550]
19: MF3='high': 'trimf ', [0.400 0.5500 0.700]
20: MF4='veryhigh': 'trapmf ', [0.500 0.750 1.000 1.000]
21:
22: [Input2]
23: Name = 'speed'
24: Range = [0.000 1.000]
25: NumMFs = 4
26: MF1='veryslow': 'trapmf ', [0.000 0.000 0.200 0.400]
27: MF2='slow': 'trimf ', [0.100 0.400 0.700]
28: MF3='medium': 'trimf ', [0.300 0.600 0.900]
29: MF4='fast': 'trapmf ', [0.600 0.800 1.000 1.000]
30:
31: [Output1]
32: Name = 'congestion'
33: Range = [0.000 1.000]
34: NumMFs = 4
35: MF1='free': 'trapmf ', [0.000 0.000 0.080 0.170]
36: MF2='slight': 'trimf ', [0.170 0.330 0.500]
37: MF3='moderate': 'trimf ', [0.500 0.670 0.830]
38: MF4='severe': 'trapmf ', [0.830 0.910 1.000 1.000]
39:
40: [Rules]
41: 1.000 1.000, 2.000 (1.000) : 1
42: 1.000 2.000, 2.000 (1.000) : 1
43: 1.000 3.000, 1.000 (1.000) : 1
44: 1.000 4.000, 1.000 (1.000) : 1
45: 2.000 1.000, 3.000 (1.000) : 1
46: 2.000 2.000, 2.000 (1.000) : 1
47: 2.000 3.000, 2.000 (1.000) : 1
48: 2.000 4.000, 1.000 (1.000) : 1
49: 3.000 1.000, 4.000 (1.000) : 1
50: 3.000 2.000, 3.000 (1.000) : 1
51: 3.000 3.000, 3.000 (1.000) : 1

```

```

52: 3.000 4.000, 2.000 (1.000) : 1
53: 4.000 1.000, 4.000 (1.000) : 1
54: 4.000 2.000, 4.000 (1.000) : 1
55: 4.000 3.000, 3.000 (1.000) : 1
56: 4.000 4.000, 3.000 (1.000) : 1

```

Algoritmo 15 - Sistema de inferência *fuzzy* (FIS) escrito em linguagem C++.

```

1: // Code automatically generated with fuzzylite 6.0.
2: using namespace fl;
3: Engine* engine = new Engine;
4: engine->setName("sample");
5: engine->setDescription("");
6:
7: /***** FIRST INPUT VALUE *****/
8: InputVariable* density = new InputVariable;
9: density->setName("density");
10: density->setDescription("");
11: density->setEnabled(true);
12: density->setRange(0.000, 1.000);
13: density->setLockValueInRange(false);
14:
15: density->addTerm(new Trapezoid("low", 0.000, 0.000, 0.150, 0.300));
16: density->addTerm(new Triangle("medium", 0.200, 0.350, 0.500));
17: density->addTerm(new Triangle("high", 0.400, 0.550, 0.700));
18: density->addTerm(new Trapezoid("veryhigh", 0.500, 0.750, 1.000, 1.000));
19: engine->addInputVariable(density);
20:
21: /***** SECOND INPUT VALUE *****/
22: InputVariable* speed = new InputVariable;
23: speed->setName("speed");
24: speed->setDescription("");
25: speed->setEnabled(true);
26: speed->setRange(0.000, 1.000);
27: speed->setLockValueInRange(false);
28:
29: speed->addTerm(new Trapezoid("veryslow", 0.000, 0.000, 0.200, 0.400));
30: speed->addTerm(new Triangle("slow", 0.100, 0.400, 0.700));
31: speed->addTerm(new Triangle("medium", 0.300, 0.600, 0.900));
32: speed->addTerm(new Trapezoid("fast", 0.600, 0.800, 1.000, 1.000));
33: engine->addInputVariable(speed);
34:
35: /***** OUTPUT VALUE *****/
36: OutputVariable* congestion = new OutputVariable;
37: congestion->setName("congestion");
38: congestion->setDescription("");
39: congestion->setEnabled(true);
40: congestion->setRange(0.000, 1.000);
41: congestion->setLockValueInRange(false);
42: congestion->setAggregation(new Maximum);

```

```

43: congestion->setDefuzzifier(new Centroid(100));
44:
45: congestion->setDefaultValue(fl::inf);
46: congestion->setLockPreviousValue(false);
47: congestion->addTerm(new Trapezoid("free", 0.000, 0.000, 0.080, 0.170));
48: congestion->addTerm(new Triangle("slight", 0.170, 0.330, 0.500));
49: congestion->addTerm(new Triangle("moderate", 0.500, 0.670, 0.830));
50: congestion->addTerm(new Trapezoid("severe", 0.830, 0.910, 1.000, 1.000));
51: engine->addOutputVariable(congestion);
52:
53: /***** RULES *****/
54: RuleBlock* ruleBlock = new RuleBlock;
55: ruleBlock->setName("");
56: ruleBlock->setDescription("");
57: ruleBlock->setEnabled(true);
58: ruleBlock->setConjunction(new Minimum);
59: ruleBlock->setDisjunction(new Maximum);
60: ruleBlock->setImplication(new Minimum);
61: ruleBlock->setActivation(new General);
62:
63: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is low and speed is veryslow then ←
    congestion is slight", engine));
64: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is low and speed is slow then ←
    congestion is slight", engine));
65: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is low and speed is medium then ←
    congestion is free", engine));
66: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is low and speed is fast then ←
    congestion is free", engine));
67: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is medium and speed is veryslow then ←
    congestion is moderate", engine));
68: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is medium and speed is slow then ←
    congestion is slight", engine));
69: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is medium and speed is medium then ←
    congestion is slight", engine));
70: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is medium and speed is fast then ←
    congestion is free", engine));
71: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is high and speed is veryslow then ←
    congestion is severe", engine));
72: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is high and speed is slow then ←
    congestion is moderate", engine));
73: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is high and speed is medium then ←
    congestion is moderate", engine));
74: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is high and speed is fast then ←
    congestion is slight", engine));
75: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is veryhigh and speed is veryslow ←
    then congestion is severe", engine));
76: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is veryhigh and speed is slow then ←
    congestion is severe", engine));
77: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is veryhigh and speed is medium then ←
    congestion is moderate", engine));
78: ruleBlock->addRule(Rule::parse("if density is veryhigh and speed is fast then ←
    congestion is moderate", engine));
79: engine->addRuleBlock(ruleBlock);

```

