

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TÍTULO DO TRABALHO

**Controle de Qualidade de Experiência para
Disseminação de Vídeos em Tempo Real sobre
Redes Ad Hoc Veiculares**

NOME DO AUTOR

Carlos Jean Ferreira de Quadros

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NOME DO AUTOR

Carlos Jean Ferreira de Quadros

TÍTULO DO TRABALHO

**Controle de Qualidade de Experiência para
Disseminação de Vídeos em Tempo Real sobre
Redes Ad Hoc Veiculares**

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NOME DO AUTOR

Carlos Jean Ferreira de Quadros

TÍTULO DO TRABALHO

**Controle de Qualidade de Experiência para
Disseminação de Vídeos em Tempo Real sobre
Redes Ad Hoc Veiculares**

Tese de doutorado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFPA como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Controle de Qualidade de Experiência para Disseminação de Vídeos em Tempo Real sobre Redes Ad Hoc Veiculares

AUTOR: Carlos Jean Ferreira de Quadros

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA _____ PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA

_____ EM __/__/2017

BANCA EXAMINADORA:

.....

Prof. Dr. Eduardo Cerqueira (ORIENTADOR - UFPA)

.....

Prof. Dr. Aldri Santos (CO-ORIENTADOR - UFPR)

.....

Prof. Dr. Mauro Margalho (AVALIADOR - UNAMA)

.....

Prof. Dr. Denis Rosário (AVALIADOR - UFPA)

.....

Prof. Dr. Diego Cardoso (AVALIADOR - UFPA)

VISTO:

.....

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA

*“Todos querem o perfume das flores mas poucos sujam as
suas mãos para cultivá-las.”*

(Augusto Cury)

Agradecimentos

Agradeço a Deus por cada dia de vida, pela oportunidade de fazer as coisas melhores e permitir-me sempre descobrir novos caminhos. Ele me abençoou muito!

Aos meus amados Pais, Maria Lúcia e Braz Melo, pelo apoio que sempre me dão, nunca desistindo de acreditar em mim. Aos meus queridos irmãos, Braz Júnior e Fabiane Melo, também muito presentes no meu coração. A família é onde a história de cada um de nós inicia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Cerqueira, pelo voto de confiança depositado desde o início, onde deu-me a oportunidade de realizar este e outros trabalhos. Agradeço pelo apoio constante, em particular o apoio à ida à Los Angeles para o doutorado sanduíche, pela disponibilização dos recursos necessários e a amizade. Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Aldri Santos, pela paciência, perseverança e “puxões de orelha” sempre que eram necessários nas incontáveis reuniões de Skype e trocas de e-mail. Agradeço pelo engrandecimento acadêmico-científico que me proporcionou na temporada que passei em Curitiba e no decorrer do doutorado.

Aos amigos queridos que torceram e acreditaram na realização deste sonho.

À CAPES e CNPQ pelo suporte financeiro no doutorado.

Carlos Jean Ferreira de Quadros

Resumo

A disseminação de vídeos em tempo real sobre Redes Veiculares (do Inglês, *Vehicular Ad hoc Networks - VANETs*) é fundamental para inúmeros serviços, como: vídeos de emergência, anúncios, monitoramento inteligente etc. Essas aplicações enfrentam muitos desafios devido os requisitos de qualidade de vídeo, topologia dinâmica e ambiente das VANETs. Para lidar com esses desafios e reduzir a sobrecarga de roteamento na rede, protocolos de roteamento estatísticos (do Inglês, *Statistical Routing Protocols - SRPs*) tem sido propostos para a distribuição de fluxos de vídeo em VANETs, normalmente usando parâmetros de posicionamento e Qualidade de Serviço. Porém, além desses parâmetros, a disseminação de vídeo, considerando a perspectiva dos usuários, também exige a preocupação com questões relacionadas à aceitação pelo Sistema Visual Humano (SVH). Devido aos diferentes requisitos e a estrutura hierárquica de vídeos, apenas parâmetros de posição e do nível de rede não são suficientes para disseminação de vídeo com níveis satisfatórios de Qualidade de Experiência (do Inglês *Quality of Experience - QoE*) e alcançabilidade. Esta tese foca na melhoria do QoE dos vídeos em tempo real disseminados em VANETs. Assim, propõe-se um mecanismo *cross-layer* para *Broadcast baseado em Receptor dirigido a QoE* (BRQ), modularmente acoplado em SRPs para oferecer parâmetros relacionados a vídeo no processo de seleção de nodos encaminhadores dos fluxos de vídeo e manutenção de rotas. A partir do BRQ, os nodos da rede decidem por eles mesmos, se devem retransmitir as sequências de vídeo ou não, melhorando a capacidade do sistema em distribuir vídeos com melhor QoE. No topo dessa arquitetura, uma técnica para Correção de Erros, nomeadamente Entrelaçamento (do Inglês, *Interleaving*), foi adicionada, permitindo mitigar ainda mais os efeitos de perdas em rajadas de quadros relativos ao ambiente de conexão inseguro de VANETs. Para validação, o mecanismo BRQ foi adicionado a um SRP projetado usando a estratégia de encaminhamento baseada em Distância, chamado de protocolo DBRQ (Distance BRQ). Os resultados mostram que os ganhos do protocolo DBRQ comparado a outros atuais SRPs, forceceram disseminação de vídeo com maior suporte à QoE, menos sobrecarga de roteamento e alcançabilidade satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: VANETs; LTE; QoE; Protocolos de Roteamento Estatísticos.

Abstract

Live video dissemination over Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) is fundamental for several services, e.g., roadside video emergency, advertisement's broadcast, and smart video surveillance. All these applications face many challenges due to stringent video quality level requirements, dynamic topologies, and broadcast environments. To deal with these challenges, as well as reduce network routing overhead, geographic Statistical Routing Protocols (SRPs) have been proposed as a suitable solution for the distribution of video flows in VANETs, usually by using positioning and Quality of Service (QoS) parameters. However, rather than only these parameters, a satisfactory video dissemination from the user's perspective also requires video and human-awareness issues. In real situations, due to different requirements and hierarchical structures of multimedia applications, network level and position parameters alone are not enough to select the best relay nodes and build up reliable routes to multi-hop video dissemination with satisfactory reachability and Quality of Experience (QoE) levels. This thesis focuses on improving the disseminated quality of on-road live videos in VANETs. Thus, we propose the cross-layer Broadcast Receiver-based and QoE-driven (BRQ) mechanism, which is modularly coupled to SRPs to offer QoE-aware and video-related parameters for the relay node selection and route maintenance. Thus, nodes decide for themselves to retransmit further the video sequences, enhancing the capacity of the system in delivering videos with better QoE assurance. On top of this, an application-level Error-Control (EC) scheme, namely Interleaving, allows mitigating the effects of frame loss. BRQ was added to a straightforward SRP built using the Distance method, named DBRQ protocol. Results show the gains of DBRQ compared to current SRPs, achieving video dissemination with QoE support, less routing overhead, and satisfactory reachability.

KEYWORDS: VANETs; LTE; QoE; Statistical Routing Protocols.

Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	vi
Glossário	vii
Lista de Símbolos	x
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Problema de Pesquisa	5
1.3 Hipótese de Tese	6
1.4 Objetivos	7
1.5 Contribuições	8
1.6 Organização do texto	10
2 Visão Geral	12
2.1 Redes Ad Hoc Veiculares	12
2.1.1 Entidades de VANETs	13
2.1.2 Características de VANETs	15
2.1.3 Roteamento em VANETs	18
2.2 Localização em VANETs	22
2.3 <i>Streaming</i> de Vídeo em VANETs	24
2.3.1 As Abordagens Clássicas para <i>Streaming</i> Vídeo em VANETs	27
2.4 Síntese do Capítulo	28
3 Revisão Bibliográfica sobre <i>Streaming</i> de Vídeo em VANETs	30

3.1	Técnicas para a Camada de Enlace	31
3.1.1	Seleção de nodos Encaminhadores	32
3.1.2	Controle de Congestionamento da Rede	34
3.1.3	Propostas baseadas em QoS	36
3.2	Técnicas para a Camada de Rede	36
3.2.1	Abordagens orientadas à Topologia	37
3.2.2	Seleção de Nodos	38
3.2.2.1	Protocolos de Roteamento Estatísticos	40
3.3	Técnicas para a Camada de Aplicação	45
3.3.1	Codificação de Vídeo em Múltiplas Camadas	46
3.3.1.1	Técnicas de Correção de Erros	48
3.4	Síntese do Capítulo	50
4	Mecanismo para <i>Broadcast</i> baseado em Receptor dirigido a QoE (BRQ)	53
4.1	Etapas do BRQ	54
4.1.1	Modelagem do Sistema	54
4.1.2	Aplicação da Técnica Intercalação no BRQ	57
4.1.3	Etapa 1 - Encaminhamento Baseado em Contenção (EBC)	58
4.1.3.1	Cenário envolvendo comunicação V2V	58
4.1.3.2	Cenário envolvendo comunicação V2I	62
4.1.3.3	Parâmetros relacionados a QoE e Vídeo	65
4.1.3.4	Integração da etapa EBC do BRQ com um SRP	66
4.1.4	Etapa 2 - Encaminhamento Livre de Contenção (ELC)	67
5	Avaliação de Desempenho	69
5.1	Metodologia	69
5.2	Parâmetros, cenários e métricas de avaliação	70
5.3	Impactos do uso da Técnica de correção de erros na Camada de Aplicação	74
5.4	Impactos dos cenários V2V e V2I	76
5.5	Avaliação baseada em QoS	80
5.6	Avaliação baseada em QoE	83

6	Considerações Finais e Conclusões	88
6.1	Trabalhos Futuros	90
	Bibliografia	104

Lista de Figuras

1.1	Cenário heterogêneo atual.	3
3.1	Técnica de Intercalação.	51
4.1	Arquitetura simplificada de um nodo contendo Entrelaçamento, BRQ, e o SRP baseado em Distância.	54
4.2	A diferente prioridade dos quadros MPEG.	56
4.3	Arquitetura detalhada do sistema com a Intercalação, BRQ e o SRP. . . .	57
4.4	Processo de encaminhamento do BRQ.	58
4.5	Etapa EBC para o primeiro salto (a-c) e para o segundo salto (d-f).	61
4.6	Cenário V2I para uma rede LTE-VANET.	62
5.1	Modelo de atividades utilizado neste trabalho.	71
5.2	Cenários utilizados nas simulações.	72
5.3	Impacto da Técnica de Correção de Erros à 500m do acidente.	75
5.4	Impacto da Técnica de Correção de Erros à 1500m do acidente.	76
5.5	Impacto da Técnica de Correção de Erros à 2500m do acidente.	76
5.6	Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário urbano V2V.	77
5.7	Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário de autoestrada V2V.	78
5.8	Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário urbano V2I.	78
5.9	Nodos de encaminhamento sobre nodos que recebem o vídeo vs densidade de veículos no cenário urbano V2V.	79

5.10	Nodos de encaminhamento sobre nodos que recebem o vídeo vs Densidade de veículos no cenário urbano V2I.	80
5.11	Nodos de encaminhamento sobre nodos que recebem o vídeo vs Densidade de veículos no cenário de autoestrada V2V.	80
5.12	PDR para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2V.	81
5.13	PDR para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2I.	81
5.14	Atraso médio para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2V.	82
5.15	Atraso médio para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2I.	82
5.16	SSIM para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2	84
5.17	MOS para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2	84
5.18	Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DBRQ no quadro 369.	86
5.19	Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo ACDB no quadro 369.	86
5.20	Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DTM no quadro 369.	86
5.21	Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DIST no quadro 369.	87

Lista de Tabelas

2.1	Requisitos de Qualidade de Serviço para Vídeos [Szigeti and Hattingh 2005].	26
3.1	Comparação qualitativa.	52
5.1	Comparação entre os diferentes SRPs baseado nos experimentos de simulação conduzidos.	86

Glossário

ACDB *Automatic Copies Distance-Based*

AIFS *Arbitration Inter-frame Space*

AOS *Applying Adoptive Offset Slot*

AoA *Angle of Arrival*

CAMs *Cooperative Awareness Messages*

CBF *Contention-based Forwarding*

CB *Counter-Based*

CCH *Control Channel*

CSMA/CA *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*

CTB *Clear to broadcast*

CTS *Clear To Send*

D2D *Device-to-Device*

DB *Distance-Based*

DCT *Discrete Cosine Transform*

DPI *Deep Packet Inspection*

DSRC *Dedicated Short Range Communication*

DTM *Distance-to-Mean*

DTNs *Delay Tolerant Networks*

EDCA *Enhanced Distributed Channel Access*

ENB *Evolved NodeB*

FEC *Forward Error Correction*

FCD *Floating Car Data*

GOP *Group of Pictures*

GPS *Global positioning system*

HCF *Hybrid Coordination Function*

H2H *Human-to-Human*

LBT *Listen Before Talk*

LB *Location-Based*

LTE *Long Term Evolution*

MAC *Media Access Control*

MANETs *Mobile Ad Hoc Networks*

MDC *Multiple Description Coding*

MOS *Mean Opinion Score*

MPEG *Moving Pictures Experts Group*

MSE *Mean Square Error*

NC *Network Coding*

P2P *Peer to Peer*

PDR *Packet Delivery Rate*

PSNR *Peak Signal to Noise Ratio*

QoE *Quality of Experience*

QoS *Quality of Service*

RSSI *Received Signal Strength*

RSUs *Roadside Units*

RTB *Request to broadcast*

RTS *Request To Send*

SB *Smart Broadcast*

SCH *Service channels*

SRP *Statistical Routing Protocol*

SSIM *Structural SIMilarity*

SUV *Streaming Urban Video*

SVC *Scalable Video Coding*

UMB *Urban Multi-hop Broadcast*

V2I *Vehicle-to-Infrastructure*

V2V *Vehicle-to-Vehicle*

VANETs *Vehicular Ad Hoc Networks*

W-HCF *WAVE-based Hybrid Coordination Function*

WAVE *Wireless Access in Vehicular Environments*

Lista de Símbolos

AVB Autorização para disseminação de vídeos (*Authorization to Video Broadcast*) enviada a partir do MS para os veículos

C_D Parâmetro de posicionamento (distância do RV para o nodo anterior enviando)

C_{QoE} Parâmetro de QoE

d_{int} Distância de Intercalação *Interleaving-distance*

EBC Etapa 1 do BRQ (*Encaminhamento Baseado em Contenção*)

ELC Etapa 1 do BRQ (*Encaminhamento Livre de Contenção*)

FF Uma função de ajuste (*Fit Function*, valor localmente calculado) para definir FVs

FF_t Valor máximo da função de ajuste *Fit Function*

FV Nodo de encaminhamento (*Forwarding Vehicle*)

g Um GoP pertencente a um VF

MS Servidor de gerenciamento remoto (*Management Server*) presente nas eNBs LTE.

$N(v_i)$ Conjunto de vizinhos de um salto dentro do raio de cobertura de um dado nodo v_i

NVB Notificação para disseminação de vídeo *Notification to Video Broadcast* enviada a partir dos veículos para o MS

N_{HopsT} Número máximo de saltos para cobrir a área de interesse de *broadcast*

N_{Hops} Número total de saltos atravessados por pacotes pertencentes a um $W(VF_i)$

R Raio de transmissão máximo

RV Nodo candidato (*Relay Vehicle*)

s Uma *slice* pertencente a um frame de vídeo

SV Nodo fonte (*Source Vehicle*)

TB_{Max} Tamanho máximo do *buffer* de armazenamento em cada v_i)

VF Fluxo de vídeo (*Video Flow*)

v_i Um dado nodo com um identificador individual ($i \in [1, k]$)

$W(VF_i)$ Uma janela de tempo *Time Window* onde são disseminados pacotes de um VF_i

WZ Região onde o vídeo deve ser disseminado (*Warning Zone*)

Capítulo 1

Introdução

1.1 MOTIVAÇÃO

As Redes Ad Hoc Veiculares, conhecidas como VANETs (do Inglês, *Vehicular Ad Hoc Networks*), já não são mais uma promessa dentro do contexto de redes modernas, mas sim uma realidade. Desde o advento do primeiro automóvel, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para melhorar a experiência de condução. Hoje, os veículos já saem de fábrica equipados com uma variedade de dispositivos e acessórios computacionais que controlam ou auxiliam os condutores em diversas tarefas, tais como sistemas de localização, frenagem com segurança, estacionamento automático, entretenimento de passageiros e muito mais [Wu et al. 2015, Abdelhamid et al. 2017].

Dentro deste novo contexto, onde as possibilidades de aplicações são vastas, estudos têm sugerido que a gama de serviços que irão surgir em pouco tempo incluem o fornecimento de recursos de bordo que poderão estar mesclados com informações sensorizadas (por exemplo, velocidade, proximidade de objetos e mau funcionamento do veículo) para comunicação inter-veicular, automatização inteligente de mecanismos (por exemplo, frenagem, estacionamento e piloto automático), informações e entretenimento ubíquo (por exemplo, telas embutidas, sistemas de áudio e vídeo e estações de videogames) já disponíveis em vários veículos com serviços importantes (como sistemas anti-colisão, sistemas de alertas de acidentes, sistemas de notificação para socorristas, serviços em nuvem e jogos *multiplayer*). A fusão destes dispositivos, informações e serviços deve ocorrer de forma veloz, cooperativa e com eficiência de comunicação transparente entre todas as entidades envolvidas [Aloqaily et al. 2016].

Atualmente, há muitas tecnologias em desenvolvimento para veículos que irão en-

riquecer ainda mais as opções de serviços a serem implantados em VANETs. Muito se especula em formas para a detecção de uma eventual sonolência do condutor [Harisanker and Sundaram 2015] (por exemplo, cintos de segurança com monitoramento de batimento cardíaco, reconhecimento de sinais de sonolência presentes nas faces dos motoristas, pressão das mãos sobre o volante quando o carro está em movimento) que poderiam ser usadas para evitar acidentes. Tecnologias que utilizam parabrisas como monitores têm sido propostas, o que permitiria o fornecimento de soluções de realidade aumentada [Rameau et al. 2016] (por exemplo, *tags* espalhadas com exibição de limitações em estradas, ruas e regiões mal-iluminadas, indicação de animais selvagens cruzando as pistas ou a notificação antecipada de semáforos sinalizando a necessidade de parada do veículo).

Ainda no contexto de aplicações emergentes, a computação em nuvem, surge enfatizado cada vez mais a necessidade da prestação de serviços de comunicação de bordo a fim de alcançar acesso totalmente ubíquo e compartilhado para uma variedade de aplicações *on-line*. Através da computação em nuvem, é possível obter-se aplicações que fazem uso de cooperação entre dispositivos situados em diferentes posições de hierarquias da nuvem, separados por proximidade do usuário ou à rede de acesso. Dessa forma, usuários poderão contar com outros usuários próximos para, por exemplo, receber e disseminar mensagens (multimídias ou não) de notificações emergenciais ou comerciais. Aplicações de processamento em paralelo e distribuído poderão ser utilizadas para expandir as limitações locais de hardware dos dispositivos dentro da rede para capacidades de renderização e cálculos bem maiores do que se feito localmente. O armazenamento em nuvem já permite a disseminação dos dados e utilização dos mesmos independentemente da localização dos usuários ou dispositivos de acesso, facilitando inclusive, a sustentação de princípios de segurança como disponibilidade e integridade. Por último, a capacidade de replicação de dados através dos dispositivos conectados em nuvem enriquecerá as informações distribuídas armazenadas, processadas e retransmitidas com dados obtidos a partir dos próprios veículos de maneira descentralizada [Bitam et al. 2015].

No que se refere à estrutura, pode-se enxergar as VANETs como parte de um processo e contexto totalmente heterogêneo, onde diversas tecnologias de redes de acesso convergem, trabalhando em conjunto e de forma sistêmica. Isso reflete em diversos dispositivos e elementos de rede comunicando-se e cooperando para o provisionamento de serviços até então realizados de maneira individual ou não otimizada. O paradigma de comunicação Dispositivo para Dispositivo (do Inglês, *Device-to-Device* ou D2D), expande essa ideia, com o surgimento do conceito de comunicação direta entre dispositivos móveis próximos, sendo uma inovadora e animadora característica das redes celulares atuais [Katsaros and Dianati 2017]. A comunicação D2D irá facilitar a interoperabilidade entre redes

de segurança públicas críticas e redes comerciais ubíquas baseadas, por exemplo, em LTE (*Long Term Evolution*), wi-fi, Super Wi-Fi etc. A Figura 1.1, ilustra de forma genérica esse cenário sistêmico e mostra também algumas das aplicações que mais se destacam atualmente. Por exemplo, aplicações veiculares como realidade aumentada nos parabrisas, localização e compartilhamento de informações. Esta nova arquitetura híbrida, conduz a um cenário pervasivo onde quaisquer natureza de dispositivos conecta “tudo”, em qualquer local e em qualquer momento. Este grau de interconectividade trás consigo um volume largo de tráfego de dados entre esses dispositivos e que atualmente é gerenciado de maneira desigual entre estações-base LTE (do Inglês, *Evolved NodeBs* - eNBs) e os dispositivos móveis.

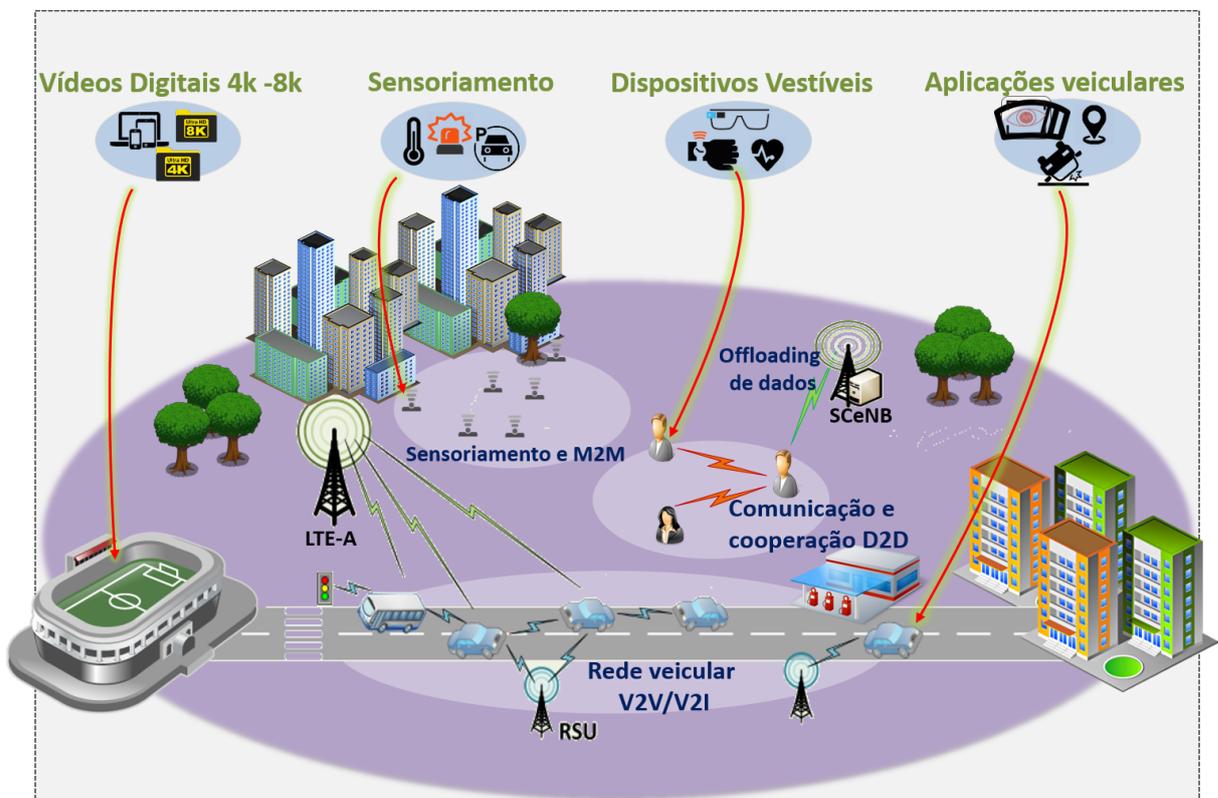


Figura 1.1: Cenário heterogêneo atual.

Partindo desse cenário ubíquo e interconectado, a maioria dos serviços existentes e/ou previstos dentro desta estrutura heterogênea, em particular, no caso das VANETs, ou exigirá a prestação de aplicações multimídia, ou a terá como um recurso adicional extremamente benéfico e enriquecedor [Zaimi et al. 2016]. Em suma, a capacidade de disseminação de *streaming* de vídeo em VANETs é crucial para o desenvolvimento de serviços interessantes e importantes. Neste trabalho, define-se *streaming* como a *transmissão pela rede em tempo real* de sequências de vídeo. Para VANETs, uma câmera instalada em uma esquina, em um parabrisa de um veículo ou oriunda de um dispositivo móvel (como

um celular de uma pessoa passeando pela rua ou dentro de um veículo), por exemplo, pode capturar informações fundamentais. Por exemplo, uma situação de acidente que será transmitida para uma equipe de primeiros socorros ou até mesmo para médicos em um hospital, diminuindo grandemente o tempo de resposta na prestação de cuidados de saúde para salvar vidas. A mesma câmera na esquina também seria capaz de capturar e transmitir o estado atual do tráfego de uma rua a condutores que podem avaliar melhor as condições do trânsito e tomar decisões sobre a seleção de rotas. A polícia pode usar câmeras instaladas em veículos com a finalidade de montar um ponto de vigilância de áreas a serem cobertas ou até mesmo para casos de perseguições de suspeitos em fuga. *Streaming* de vídeo também pode ser utilizado por consoles de videogames embutidos seja na função de jogos (com base em características locais) ou em anúncios de empresa próximas, dentro dos jogos.

No entanto, a disseminação de vídeos em tempo real, quando depende de uma VANET sob a presença de uma rede LTE (rede heterogênea LTE-VANET), deve alcançar o maior número possível de veículos interessados e, ao mesmo tempo, lidar com outros tráfegos LTE, por exemplo, *Human-to-Human* (H2H), que são aplicações geradas de pessoas para pessoas, como uma video-conferência ou chamada VoIP, e *Floating Car Data* (FCD), que são aplicações periodicamente enviadas pelos veículos a servidores remotos de monitoramento, como localização, estado, velocidade, sentido etc. Desta forma, a comunicação puramente entre veículos, sem impactar em outras redes, representa uma forma viável para distribuir quantidades significativas de *streaming* de vídeos sobre LTE-VANETs e também aliviar períodos de congestionamento nas redes LTE.

Nesse cenário, a comunicação entre veículos e eNBs deve, majoritariamente, ocorrer somente para a sinalização e coordenação das rotas formadas pelos veículos. Esta configuração permite que as aplicações que dependem da rede LTE (tráfego H2H e FCD), continuem sendo executadas sem grande sobrecarga nas eNBs causadas por aplicações que podem ocorrer puramente via comunicação veicular. Por sua vez, quando se fala em comunicação puramente veicular, muitos desafios surgem. Para a comunicação entre veículos com outros veículos se suceder, em geral, os mesmos utilizam extensivamente abordagens baseadas em *broadcast* como mecanismo de entrega de dados. Porém, a simples inundação de dados dentro da rede ocasiona um crescimento explosivo do tráfego resultando em colisões e congestionamento. Devido ao ambiente *ad hoc* e à topologia altamente dinâmica (que inclui a dispersão e o movimento dos veículos), as interrupções de conexão podem se tornar frequentes, veículos muito próximos podem transmitir os mesmos pacotes uns aos outros e, assim, aumentar os períodos de congestionamento.

Considerando-se a natureza *ad hoc*, o dinamismo da rede, estrutura e aplicações de

VANETs, percebe-se então, que as mesmas se inserem num cenário desafiador que, por si só, impõe limitações para a transmissão de conteúdo. No caso de aplicações multimídia baseadas em vídeos, os requisitos oriundos dos *streamings* de vídeo, impõem ainda mais robustez da rede [Quadros et al. 2016]. A entrega de vídeo em tempo real, maximizando a qualidade percebida pelo usuário ao acompanhar as sequências de vídeo, compõe uma tarefa complexa e que não foi tomada em consideração nas principais abordagens de VANETs atuais. Enquanto o conceito de Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) se concentra apenas em estatísticas de gestão e de entrega baseadas em pacotes, a avaliação dos vídeos recebidos em termos do conceito de Qualidade de Experiência (QoE - *Quality of Experience*) deve ser medida pela subjetiva aceitabilidade dos usuários. Isto se torna um ponto chave para o sucesso da transmissão dos vídeos de segurança, notificações de aviso e entretenimento. A prestação de *streaming* de vídeo com QoE em VANETs ainda é um tema pouco explorado e representa um desafio devido às limitações naturais desta tecnologia. O projeto de soluções viáveis para a entrega bem-sucedida e em tempo hábil de vídeo em tempo real sobre VANETs deve estar em conformidade com todas as características deste modelo de rede e esta tese foca sobre este tema, descrevendo todas as contribuições decisivas para atingir este objetivo.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O *problema de pesquisa* a ser investigado nesta tese pode ser sumarizado a partir da ideia de que:

- *Streaming de vídeo em VANETs não é realizado com garantia de QoE pelas abordagens atuais.*

Partindo deste princípio, este estudo especifica as características e peculiaridades de VANETs, bem como a estrutura, codificação e transmissão de vídeos em tempo real. Em seguida, analisa modelos de mecanismos e suas aplicações em conjunto com as soluções de roteamento já existentes. Esses modelos trazem resultados que esclarecem, mas que não mitigam o problema acima exposto de forma satisfatória. Para este fim, este trabalho projeta e avalia um mecanismo baseado em QoE, a fim de aplicá-lo de forma modular em conjunto com abordagens de roteamento que já têm sido propostas na literatura, provendo, desta forma, uma nova caracterização de qualidade para transmissões de vídeo em VANETs e LTE-VANETs, que está relacionada à experiência dos usuários.

Após a modelagem do mecanismo, este trabalho apresenta princípios que podem ser usados para projetar algoritmos e propostas dentro de VANETs e que asseguram transmissões de *streaming* de vídeo com melhor qualidade dentro das limitações desta tecnologia. Por conseguinte, esta tese resulta em uma abordagem *cross-layer* que serve como ponto de partida para o desenvolvimento e extensão de novos estudos dentro do contexto de comunicação veicular ou *ad hoc* voltados para a prestação de serviços multimídia com melhor qualidade (Subseção 1.5). Esta proposta visa atenuar o *problema de pesquisa* supracitado, advindo da natureza dinâmica das VANETs e dos rigorosos requisitos impostos para a distribuição de vídeo neste ambiente.

O problema de tese aqui anunciado, representa a *pergunta* que direciona aos passos para o estabelecimento dos objetivos desta tese. É baseado neste questionamento inicial que é circulado um escopo para este trabalho. Além disso, novas direções podem ser descobertas e sugeridas a partir da contextualização, justificativa e resultados que são apresentados neste documento.

1.3 HIPÓTESE DE TESE

A partir do *problema de pesquisa* apresentado na Seção 1.2, esta tese baseia-se na seguinte hipótese:

- *A partir de características particulares de uma requisição para transmissão de vídeo e de uma VANET, propostas de roteamento e aplicação aliadas a técnicas baseadas em QoE melhoram o desempenho da rede na entrega de conteúdo de vídeo efetivo.*

Este trabalho realiza uma investigação profunda nos mecanismos e ideias usadas para conceber algoritmos de roteamento em VANETs para transmissão de *streaming* de vídeos. A partir deste levantamento, propõe algoritmos aliados a essas técnicas visando o suporte a QoE em cenários de VANETs com o objetivo de alcançar transmissões de vídeo com melhor sucesso em termos do ponto-de-vista de usuários. Por exemplo, dependendo dos vários requisitos de QoS e posicionamento impostos pelas VANETs, como velocidade, direção e distância, amplamente usados pelos protocolos já existentes, novos e específicos parâmetros podem ser adaptados ou adicionados com poucos custos de rede, promovendo melhorias no desempenho em diferentes situações. A análise da transmissão de fluxos de vídeos deve levar em consideração não somente a entrega das sequências em tempo hábil e a melhor utilização dos recursos da rede, mas também o fator de aprovação, por parte dos usuários, na experiência de assistir as sequências recebidas de vídeos.

Dependendo da arquitetura de rede, abordagens propondo métodos de correção de erros na camada de Aplicação podem ser empregadas, protegendo diferentes partes de um vídeo ou mitigando danos nas etapas de decodificação do vídeo já recebido [Zhang et al. 2016]. É frequente o emprego desse tipo de técnica, as quais visam melhores resultados nas transmissões de vídeo. Na camada de Enlace, protocolos de acesso ao meio podem ser especificados e otimizados para permitir uma melhor fluidez da rede, observando os requisitos impostos pelas aplicações multimídia. Apesar disso, pouco se estudou sobre o impacto dessas abordagens em termos de custos para a rede, como poderiam se aliar a propostas em outras camadas, como a de roteamento e se auxiliam na melhor experiência dos serviços, ou se simplesmente permitem melhores estatísticas de entrega.

A partir da obtenção de parâmetros direcionados à QoE, é possível realizar o monitoramento/controlar em tempo real dos níveis de distorções dos vídeos [Quadros et al. 2016] ou da qualidade dos mesmos [Aguiar et al. 2014], podendo ser aplicado para a tomada de decisões, como a escolha de rotas alternativas ou mudança de veículo fonte do vídeo, por exemplo. No entanto, como combinar protocolos de roteamento de VANETs (que operam levando em conta a natureza *broadcast* e dinâmica desta tecnologia) com técnicas voltadas à QoE para melhorar a comunicação sem fio e entrega de vídeos? Neste contexto, uma subclassificação de protocolos de roteamento de VANETs, chamada de Protocolos de Roteamento Estatísticos (do Inglês, *Statistical Routing Protocols* - SRPs) têm recebido bastante atenção da comunidade acadêmica. Estes protocolos possuem a característica de permitem uma auto-seleção de nodos na disseminação dos fluxos de dados pela VANET (Capítulo 3). Este trabalho investiga diferentes cenários de VANETs e defende a ideia de que alternativas como SRPs, podem ser empregadas para permitir a adaptação de propostas de estimativa de QoE em tempo real, como será visto nos capítulos seguintes.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é demonstrar, projetar e avaliar o desempenho de métodos e técnicas de controle de tráfego de dados, confrontando com um mecanismo proposto que utiliza princípios de QoE como uma alternativa natural para melhorar as aplicações e serviços baseados em vídeos para VANETs.

Para alcançar o objetivo geral, alguns pontos necessitam ser alcançados. Assim, os seguintes objetivos específicos são listados:

- Expor e relacionar a ineficácia das abordagens atuais de roteamento para distri-

buição de vídeos em tempo real sobre VANETs. Protocolos de roteamento para distribuição de conteúdo de vídeo ainda são insipientes no que diz respeito à qualidade de recepção final atingida dos vídeos. Como VANETs surgiram inicialmente com o intuito de prover comunicação inter-veicular através de sinais e mensagens de curta duração, a maioria das abordagens de roteamento não foram projetadas para satisfazer requisitos de latência e sobrecarga mínimos necessários para distribuição de fluxos de média-longa duração, como vídeos.

- Apresentar técnicas e soluções existentes baseadas em QoS e QoE que podem ser adicionadas para melhorar as aplicações e serviços baseados em vídeos para VANETs. Essas técnicas podem ser empregadas em qualquer camada da pilha TCP/IP, tanto na forma de métodos de controle de erros da camada de aplicação, quanto na forma de algoritmos e propostas para roteamento. Algumas destas técnicas são abordagens já utilizadas em outras tecnologias, como Redes Móveis Ad Hoc (do Inglês, *Mobile Ad Hoc Networks* - MANETs), mas a aplicação das mesmas ainda é muito limitada, especialmente no contexto dinâmico de VANETs.
- Propor um mecanismo com o objetivo de monitorar e controlar em tempo real a qualidade aferida de um vídeo enquanto o mesmo é transmitido entre os veículos, tanto quando há somente a comunicação entre veículos, quanto quando há um rede celular presente em torno da VANET, como o LTE. Esta proposta ajuda à tomada de decisão para escolha e troca para rotas alternativas que satisfaçam os requisitos dos vídeos, de maneira a possibilitar um acompanhamento em tempo real dos fluxos na rede. Neste item, é proposto um mecanismo para cenários de disseminação, onde os nodos devem disseminar oportunisticamente os vídeos capturados e assegurar melhor QoE nas transmissões dos vídeos.
- Demonstrar a eficácia do uso de uma proposta para monitoramento de QoE em tempo real em VANETs. A partir dos resultados gerados com o emprego da proposta do item anterior, ratifica-se a aplicabilidade de soluções de QoE em VANETs.

1.5 CONTRIBUIÇÕES

As contribuições deste trabalho iniciam-se com o levantamento de trabalhos científicos sobre o tópico de roteamento e *streaming* de vídeos em VANETs. Inicialmente, esta tese discute profundamente as características subjacentes de VANETs. Vários aspectos que definem este modelo de rede são descritos e seu impacto sobre a concepção

de soluções possíveis são abordados. Após isso, a estrutura, codificação, e requisitos específicos de *streaming* de vídeo também são delineados, bem como a composição destes com relação aos desafios e oportunidades em VANETs.

Esta tese provê uma discussão sobre o estudo de QoE em vídeos dentro de VANETs, permitindo identificar questões em aberto, entender os requisitos e as implicações do uso de técnicas orientadas a melhorar experiência de usuários, enquanto assistindo e acompanhando vídeos em tempo real em VANETs. Além disso, este trabalho demonstra e avalia abordagens propostas para a melhora do QoE que podem ser usadas para aumentar o desempenho no roteamento e entrega de conteúdo de vídeo em tempo real.

Baseado no questionamento inicial de que (*streaming de vídeos em VANETs não são transmitidos com garantia de qualidade pelas atuais abordagens*), o trabalho foi desenvolvido após uma profunda compreensão das características, desafios e oportunidades em VANETs. Como uma segunda grande contribuição, um mecanismo é apresentado nesta tese: BRQ (mecanismo para *Broadcast* baseado em Receptor dirigido a QoE) [Quadros et al. 2016, Quadros et al. 2015a, Quadros et al. 2015b] (Capítulo 4). Este mecanismo foi designado visando apresentar uma abordagem para o cenário de *broadcast* (aqui neste documento também chamado de disseminação) de vídeos. O BRQ, é uma solução reativa à mudança de topologia, que executa realizando encaminhamento de vídeo em tempo real em conjunto com o controle de qualidade de vídeo necessário sob o ponto-de-vista dos usuários. Através de parâmetros de vídeo coletados em tempo real, é possível redirecionar o roteamento para rotas que possibilitem melhor QoE na recepção dos fluxos de vídeo. O mecanismo proposto permite a seleção de nodos encaminhadores, equilibrando entre o avanço geográfico, qualidade e estabilidade da conexão. Para situações de LTE-VANETs, o mecanismo é capaz de melhorar o QoE dos vídeos disseminados sem gerar maior sobrecarga e impacto na rede LTE, e por conseguinte, em fluxos concorrentes, como H2H e FCD.

As questões relativas à perda de pacotes observadas por propostas de roteamento, como o BRQ ou outras, em maiores taxas, têm sugerido, em diversos trabalhos, a implementação de técnicas de controle de erros que podem ser adicionadas em diferentes camadas TCP/IP para melhor qualidade do *streaming* de vídeo. Uma das contribuições deste trabalho é a discussão e o mapeamento sobre estas técnicas dentro da pilha de protocolos TCP/IP como: Multiple Description Coding (MDC), Forward Error Correction (FEC) e Intercalação (do Inglês, *Interleaving*). Estes métodos são utilizados como aliados as propostas de roteamento, provendo melhor desempenho na entrega de dados. Como conclusão, a Intercalação de pacotes foi escolhida como método para aliviar perda em rajada de pacotes nesta tese. Esta técnica é usada para possibilitar o aumento das taxas

de entrega para níveis que atendam aos requisitos de *streaming* de vídeo. Uma das vantagens do uso de Intercalação é a sua natureza assíncrona que não exige qualquer interação entre origem e destino(s). Além disso, o uso da Intercalação como método de correção de erros em diferentes tipos de quadros foi avaliado, fornecendo melhorias valiosas para a qualidade dos vídeos recebidos e, ao mesmo tempo, limitando a sobrecarga.

Este é um resumo das contribuições nesta tese. Muitos dos resultados aqui mostrados foram revistos pela comunidade científica e publicados em locais bem conhecidos. A Seção 1.6 lista a estrutura deste trabalho.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O Capítulo 2 introduz o conceito de conectividade ubíqua e como VANETs se posicionam como uma nova fronteira em redes móveis. VANETs são contextualizadas e diferenciadas entre outras redes sem fio e seus detalhes e desafios específicos são exaustivamente discutidos. São listadas também, aplicações e serviços previstos para serem oferecidos sobre VANETs que demonstram os benefícios que podem ser fornecidos para condutores, passageiros, pedestres e autoridades. Propostas envolvendo roteamento são elencadas e, finalmente, são apresentados os aspectos mais importantes de *streaming* de vídeo, como suas exigências enfatizam os desafios de VANETs e as abordagens clássicas (iniciais) que foram propostas para a transmissão deste tipo de conteúdo em VANETs.

O Capítulo 3 contém uma discussão e análise de técnicas que podem ser incorporadas em diferentes camadas da pilha TCP/IP para a melhora da distribuição de conteúdo de vídeo em tempo real, ou seja, com melhor QoE. Após isso, uma análise do estado da arte e trabalhos correlatos em relação a *streaming* de vídeo em VANETs é apresentado. As principais e recentes abordagens que têm sido sugeridas para VANETs no contexto de entrega de *streaming* de vídeo e o conceito de Protocolos de Roteamento Estatísticos (SRPs) é apresentados. Este estudo vai desde a identificação de soluções interessantes para comunicação veicular aos poucos trabalhos existentes relacionados à transmissão de *streaming* de vídeos em VANETs com suporte a QoE.

O Capítulo 4 apresenta um dos trabalhos desenvolvidos ao longo desta pesquisa de doutorado, realizados em VANETs, nomeadamente BRQ. Esta obra é apresentada nesta tese de maneira a exemplificar algumas das contribuições desenvolvidas para a comunidade científica. Além disso, esse estudo foi fundamental para uma compreensão profunda de VANETs, vídeos e QoE e esse conhecimento é a base para o projeto de soluções adequadas e direções futuras. O capítulo 4 aborda o BRQ para um cenário puramente veicular (onde

somente veículos participam da disseminação do conteúdo de vídeo) e também considera o BRQ num cenário de rede heterogênea (onde uma rede celular está presente em torno da VANET, cenário LTE-VANET).

O mecanismo BRQ é apresentado como proposta para a melhora de *broadcast* de vídeos em tempo real (também chamado de disseminação neste trabalho). É importante ressaltar que, neste documento, transmissão em *unicast* é definida como a transmissão de conteúdo de vídeo a partir de uma única origem para um único destino, enquanto disseminação de vídeo é definida como a partir de uma única fonte para todos os nodos interessados em receber conteúdo dentro de uma distância em relação ao nodo inicial. Deste modo, este documento não aborda o modelo de transmissão em *unicast* e *multicast* (de uma fonte para muitos destinos e não necessariamente todos os nodos), mas as discussões sobre disseminação de vídeo podem ser empregadas no desenvolvimento de uma proposta em *multicast* que usa disseminação de vídeo e filtra o conteúdo para ser encaminhado para apenas as camadas de aplicação dos receptores apropriados. Embora este trabalho não lide explicitamente com o modelo *geocast* (de uma fonte para todos os nodos em uma região definida), tal solução pode ser facilmente criada a partir de uma abordagem que combina uma solução *unicast* para entregar pacotes a partir da fonte para um nodo na área-alvo, ocorrendo então o *broadcast* quando a área alvo é atingida. Para mais informações sobre a transmissão *unicast*, um dos trabalhos realizados durante esta pesquisa de doutorado pode ser consultado em [Quadros et al. 2015a].

O Capítulo 5 apresenta todas as configurações, métricas e cenários utilizados para a avaliação do desempenho do mecanismo introduzido nos Capítulo 4. Embora o trabalho proposto (BRQ) supere outras soluções, a perda de pacotes ainda é um problema. Por esta razão, um mecanismo de controle de erros também é avaliado, nomeadamente o Entrelaçamento, o qual diminui as taxas observadas de perda de pacotes. Este capítulo apresenta todos os ganhos obtidos com o uso de parâmetros relacionado à QoE para seleção e manutenção de rotas dentro do contexto de transmissão de vídeos em tempo real em VANETs.

Finalmente, no Capítulo 6, são resumidas as contribuições desta tese, realçando o avanços na disseminação de *streaming* de vídeo sobre VANETs, onde são sugeridos trabalhos futuros. Este capítulo apresenta uma discussão sobre VANETs e perspectivas futuras.

Capítulo 2

Visão Geral

Este capítulo é focado em explicar as definições, desafios e conceitos de VANETs. Com uma visão geral, destaca importantes abordagens que foram propostas para as maiores tarefas em VANETs, que são a localização e roteamento, bem como dentro do desafio de *streaming* de vídeos. Por fim, o capítulo apresenta uma discussão sobre requisitos para a transmissão de conteúdo multimídia em VANETs.

2.1 REDES AD HOC VEICULARES

A computação ubíqua não é mais uma idéia futurista, já faz parte do cotidiano das pessoas. Laptops, tablets, netbooks e smartphones estão amplamente acessíveis e cada novo modelo é, via de regra, equipado com várias interfaces sem fio. Estas, podem ser de uma variedade de tecnologias com diferentes aplicabilidades baseado nas suas características específicas como raio de cobertura, nível de mobilidade ou taxa de transferência [Ou et al. 2015]. A comunicação sem fio, neste contexto, se tornou a palavra-chave por trás do acesso pervasivo a recursos computacionais e redes.

Além disso, a comunicação sem fio permite ainda que dispositivos computacionais mantenham sua conectividade mesmo em ambientes móveis. Esta mobilidade muda o paradigma de pesquisa e de mercado na área de redes, uma vez que a conectividade entre os nodos móveis não possui estabilidade como em redes estáticas. A mobilidade não é apenas uma fonte de novos desafios mas surge como uma oportunidade para melhorar os protocolos existentes e oferecer novos serviços.

Redes formadas por dispositivos móveis devem considerar o cenário em que esses dispositivos se deslocam para regiões onde não há infra-estrutura previamente implantada.

As MANETs são exemplos de redes de comunicação que se baseiam majoritariamente na troca de mensagens entre nodos mutuamente alcançáveis. Neste caso, a intermitência de conectividade é um problema ainda mais grave, pois a comunicação ocorre geralmente entre nodos onde ambos são móveis [Gupta et al. 2015].

Nos últimos anos houve uma evolução acelerada em tecnologia veicular. Muito tem sido feito em termos de equipamentos para melhorar a segurança (freios, sensores, *airbags*), e há crescentes investimentos no desenvolvimento de soluções que aumentam o conforto (aquecimento/arrefecimento, estacionamento automático) e oferecem opções de entretenimento (sistemas de áudio e telas). Ano após ano, os veículos saem de fábrica ainda mais equipados com dispositivos computacionais, desta forma, espera-se, como um próximo passo, que haja cada vez mais o provisionamento de sistemas de comunicação inter-veicular, comunicação esta que é conceituada como formadora das VANETs. Por conseguinte, a comunicação sem fio é fortemente empregada neste contexto, a fim de facilitar ainda mais as aplicações computacionais de bordo que estão presentes nos veículos.

As VANETs são redes formadas pela conexão de veículos modernos. Embora este processo possa ser assistido por infra-estrutura localizada às margens das vias por meio de IEEE 802.11p ou redes celulares, como o LTE, frequentemente são necessárias trocas de informações entre os veículos. Neste sentido, VANETs, por definição, formam uma rede colaborativa de dispositivos computacionais *on-board* instalados em veículos que se movem em alta velocidade.

2.1.1 Entidades de VANETs

Em VANETs, existem várias entidades que interagem umas com as outras com papéis distintos. Alguns exemplos destas entidades e suas funções são:

- **Veículos:** São claramente a entidade predominante em VANETs e agem tanto como usuários quanto colaboradores. Os veículos possuem usuários (motoristas e passageiros) que são ditos “clientes” para a maioria das aplicações propostas. Os motoristas podem tirar proveito de serviços que melhoram a segurança nas estradas e ruas, mensagens de alerta ou de realidade aumentada com informações adicionais exibidas no próprio parabrisa (informações, tais como rotas, trânsito, lojas próximas e restaurantes ou distância e velocidade relativa a outros veículos). Passageiros, por outro lado, podem tirar vantagem de aplicações de entretenimento (como jogos, *streaming* de filmes ou acesso à Internet) ou comunicação (ou seja, videoconferência). Além do papel como utilizadores, a colaboração entre veículos oferecida por VANETs

proporciona suporte para a comunicação entre nodos distantes uns dos outros. A colaboração dos veículos, é fundamental para a aplicabilidade desta tecnologia uma vez que são responsáveis por manter a comunicação dentro de áreas, quando não abrangidas por qualquer outra infraestrutura.

- Unidades de Beira de Estradas (do Inglês, *Roadside Units* - RSUs): VANETs podem ser compostas exclusivamente por veículos, que se comunicam uns com os outros (comunicação Veículo-para-Veículo - V2V), ou também podem contar com o apoio de outros dispositivos computacionais colocados em proximidades de ruas ou estradas (comunicação Veículo-para-Infraestrutura - V2I). Na literatura, este conjunto auxiliar de nodos são chamados de *Roadside Infrastructure* ou RSUs. Existem vários tipos de RSUs que variam em termos de funcionalidades como conectividade e fonte de conteúdo. As RSUs melhoram a conectividade entre os veículos e formam um *backbone* (com fio ou com recursos de rádio mais potentes) e, por esta razão, oferecem opções para a troca de mensagens entre veículos distantes ou entre veículos e a Internet. Além disso, também podem transmitir informações capturadas para outras entidades. Por exemplo, velocidade de veículos, o qual pode ser usada para inferir as condições de tráfego; condições de estradas, como seca/molhada/coberta de neve, a fim de aumentar a segurança; fluxos de vídeo em tempo real, onde uma câmera transmite o vídeo capturado de locais específicos.
- Agentes Governamentais: O governo não só exerce um papel importante para VANETs, oferecendo regulamentações, mas também se interessa em utilizar esta tecnologia para melhorar serviços existentes. Departamentos de trânsito podem usar VANETs para coletar, reunir e analisar dados de tráfego a fim de inferir informações valiosas que podem ser também disseminadas de volta para veículos para melhorar a segurança dos condutores e passageiros. Um exemplo disso seria a identificação de acidentes por meio de notificações dadas por veículos nas proximidades e o uso dessa informação para alertar outros veículos que se dirigem para esta área. Outro exemplo são as respostas para situações de emergência (fornecidas pelo governo ou organizações privadas), fornecendo um serviço mais eficiente e preciso usando vídeos enviados via VANETs para análise de médicos/paramédicos ou ambulâncias.
- Empresas Privadas: É fácil para as empresas, que já lidam com veículos em estradas ou ruas, aproveitarem a disponibilidade de VANETs para melhorar a qualidade e gama dos serviços oferecidos. Por exemplo, empresas que gerenciam estradas privadas podem oferecer serviços como acesso à Internet, informações sobre as condições de tráfego, pedágio automatizado ou alertas de acidentes. Além disso, outras empre-

sas podem começar a explorar este novo nicho, uma vez que oferece muitas oportunidades para a implantação de serviços interessantes e rentáveis. Empresas também podem aplicar novos modelos de negócios para VANETS baseados em localização, publicidade, perfis de usuários e conveniências.

2.1.2 Características de VANETs

VANETs são um tipo específico de MANETs com peculiaridades fundamentais, o que torna impraticável a simples utilização da maioria das soluções para MANETs. Ao invés de pessoas portadoras de dispositivos portáteis, VANETs são compostas por veículos equipados com computadores de bordo que são capazes de trocas de dados sem fio. Os usuários são principalmente os condutores e passageiros, cada qual tendo diferentes interesses e restrições que devem ser consideradas como escopos para os serviços previstos específicos.

Os dispositivos embutidos em veículos são, em geral, bem mais potentes do que os dispositivos portáteis comuns de MANETs, assim, possuem significativamente menos restrições. A vantagem mais importante sobre MANETs é que, em VANETs, a fonte de energia é considerada praticamente ilimitada, assim o consumo de energia não é um problema. Além disso, pode-se considerar que o poder computacional (tanto CPU e memória) é tão bom quanto as melhores opções disponíveis no mercado. Por esta razão, soluções e protocolos desenvolvidos para MANETs devem ser reavaliados a fim de proporcionar um melhor desempenho, dado que estas limitações podem ser ignoradas.

Muito tem-se discutido sobre quais tecnologias devem ser utilizadas como interface sem fio em veículos (comunicação V2V). O padrão *Dedicated Short Range Communication* (DSRC) [Hafeez et al. 2013] fornece as diretrizes para a comunicação sem fio entre veículos. A primeira e direta abordagem é utilizar as interfaces de rede sem fio mais comuns no mercado: IEEE 802.11 b/g/i/n (Wi-Fi) [Chiti et al. 2017]. No entanto, o Wi-Fi foi concebido para a comunicação entre dispositivos estáticos e oferece um raio limitado de cobertura. O IEEE 802.16 (WiMAX) [Dorge et al. 2016], foi considerado como uma alternativa devido a seu alcance de comunicação substancialmente mais alto, mas ainda não está claro como WiMAX operaria com dispositivos móveis em altas velocidades como os veículos. Uma tecnologia promissora é o novo IEEE 802.11p [Yang et al. 2014] em conjunto com a arquitetura para Acesso Sem Fio em Ambientes Veiculares (do Inglês, *Wireless Access in Vehicular Environments* - WAVE) [Pasha 2016], que é uma proposta que leva em consideração as características específicas de VANETs, oferecendo um raio de alcance bastante variável entre 100m e 1km.

Embora VANETs não sofram de limitação de CPU, memória ou potência, as altas velocidades pelas quais os veículos se movem incorrem em uma série de novos desafios. Um veículo pode facilmente chegar a 100km/h, o que significaria que os veículos que se deslocam a esta velocidade em direções opostas usando IEEE 802.11p (até 1.000m alcance) ficariam fora do alcance um do outro em menos de 20 segundos. Portanto, as conexões podem ser altamente intermitentes e com curta duração. O movimento rápido dos veículos pode criar novas conexões na mesma taxa em que as mesmas podem ser quebradas. Por esta razão, observa-se que a topologia de uma VANET é extremamente dinâmica, constituindo o principal desafio desta tecnologia.

A comunicação *ad hoc* entre veículos é realizada através de um meio sem fio. Portanto, todos os veículos dentro da mesma vizinhança compartilham os mesmos canais de comunicação. Infelizmente, a simples inundação de dados dentro da rede, leva a um explosivo crescimento do tráfego, resultando em colisões e congestionamentos, ou seja, o problema de tempestades de pacotes (do Inglês, *broadcast storms*). Isto impacta significativamente na forma como os protocolos devem considerar as transmissões de pacotes, já que estas consomem recursos de todos os nodos nas proximidades. Isto significa que todos os pacotes transmitidos, independentemente de serem dirigidos a um vizinho ou a uma transmissão específica, são observados por todos os vizinhos e os impede de transmitirem com êxito os mesmos pacotes dentro do mesmo intervalo de tempo. É necessário tomar medidas de precaução para evitar ou mitigar a transmissão simultânea de pacotes por veículos dentro do mesmo alcance, o que incorre no provável fracasso da recepção desses pacotes. A colisão de pacotes também é muito frequente em regiões densas de qualquer rede sem fio. Portanto, o meio sem fio compartilhado se divide em dois pilares, o pilar de desafio em função do consumo de largura de banda compartilhada e degradação do sinal, e o pilar de oportunidade, dado que muitos nodos são atingidos por uma única transmissão.

Uma questão em VANETs que por vezes é negligenciada por muitos estudiosos é a não uniformidade da topologia de nodos na rede além do número de aplicações que podem estar em transmissão simultaneamente. A distribuição de veículos em uma região ou em uma estrada varia significativamente, assim como o número de fluxos dentro de uma mesma rede em um determinado momento. Em rodovias, observa-se que os veículos com padrões semelhantes de mobilidade (ou seja, velocidade e direção) muita das vezes formam grupos que, por sua vez, podem estar desconectados de outros grupos. Além disso, construções, trânsito ou mesmo eventos particulares criam pontos de alta densidade, enquanto outras regiões tornam-se pouco povoadas. A densidade não uniforme é ainda mais evidente em ambientes urbanos. Em uma perspectiva macro, a sazonalidade do tráfego, bairros populares (tanto para fins comerciais, de entretenimento ou residenciais)

ou as rotas comuns tendem a atrair a concentração de nodos em detrimento de outras áreas. Além disso, interseções ou sinais de trânsito causam ainda flutuação da densidade deixando-a mais dinâmica.

O principal problema com a não uniformidade da densidade é que as soluções geralmente tentam balancear entre sobrecarga e eficácia, o que se torna complicado. Por exemplo, protocolos de roteamento concentram-se em alcançar proporções elevadas de entrega com a menor quantidade de transmissões. A fim de ser capaz de transmitir dados com sucesso entre veículos fontes para destinos, um protocolo de roteamento deve ser capaz de transmitir pacotes através de regiões de baixa densidade, mas soluções para estes ambientes levam, geralmente, a uma desnecessária sobrecarga em regiões mais densas.

É crucial que qualquer protocolo em VANETs deve considerar que muitos serviços e aplicações são potencialmente oferecidos a um número crescente de nodos. Soluções que requerem o uso de uma grande percentagem de largura de banda disponível, monopolizam o uso do canal sem fio e são impraticáveis para um ambiente com muitos serviços em paralelo para um grande número de utilizadores. A escalabilidade é uma exigência imperativa para qualquer solução desenvolvida para VANETs.

Outro problema enfrentado em VANETs é que veículos podem se deslocar para regiões fora do alcance de qualquer outro nodo na rede (*Void Areas*) [Mishra et al. 2016]. Longos períodos de desconexão são comuns e sua ocorrência degrada substancialmente a qualidade dos serviços prestados por VANETs. Desconexões podem ser tanto causadas por questões de dinamismo de topologia ou densidade não uniforme, mencionado acima, quanto por características físicas que criam buracos de comunicação na rede, como edifícios, parques, lagos ou rios. A solução mais amplamente utilizada para *void areas* é o paradigma do *carry-and-forward* (também conhecido como *store-and-forward*). Nesta abordagem, os nodos utilizam a sua mobilidade para ajudar a alcançar outros nodos em uma região diferente daquela que o mesmo recebeu primeiramente os pacotes. Na Seção 2.1.3, o *carry-and-forward* e sua relação com *streaming* de vídeo são discutidas.

VANETs se apresentam como um ambiente extremamente desafiador para a implantação de qualquer serviço. Dinamismo de topologia, meio sem fio compartilhado, densidade não uniforme e necessidade de escalabilidade. Todas essas questões norteiam a concepção de qualquer abordagem prevista para prosperar em tal cenário. Infelizmente não há, atualmente, uma solução integrada que consiga resolver todos esses desafios ao mesmo tempo, assim, é possível identificar diversas questões em aberto para essa tecnologia.

2.1.3 Roteamento em VANETs

O roteamento em VANETs é significativamente diferente de MANETs. A topologia é extremamente mais dinâmica e diferente devido à velocidade e padrão de movimento dos veículos. Além disso, a não uniformidade da densidade é um grande desafio haja vista a necessidade de soluções diferentes para regiões diferentes. Portanto, é fundamental reavaliar as soluções para MANETs, o que permite o surgimento de um novo conjunto de soluções adequadas para as propriedades de VANETs.

Existem vários trabalhos na literatura com diferentes perspectivas para roteamento de dados em VANETs. Em [Nadeem et al. 2006], Nadeem discute propostas para a troca de mensagens contendo ou condições de tráfego ou informações atualizadas de veículos, como velocidade e direção. Os autores focam em um cenário inicial, onde a informação compartilhada são apenas sinais de alerta, portanto não compõe tráfego de grandes taxas de dados, como vídeos. Uma das contribuições do trabalho de Nadeem é a introdução da ideia de que cada nodo presente na rede não é somente uma parte interessada para recebimento de dados, mas também uma potencial fonte de dados para outros nodos. Conceito este, que é amplamente considerado nas propostas de VANETs atuais.

Em [Benslimane 2004], os autores discutem a disseminação de mensagens de alerta num contexto *broadcast*, por exemplo acidentes, através de comunicação V2V. Em [Dornbush and Joshi 2007], os autores focam na aplicação de disseminação de informações para veículos sobre as condições do tráfego e utilizam uma abordagem contendo formações de conjuntos de veículos próximos uns dos outros, denominados de *clusters*, os quais possuem uma entidade chamada de *clusterhead* (veículo pertencente ao *cluster* com função de *gateway*). A disseminação da informação é realizada para veículos na rede através de uma rota previamente estabelecida entre os *clusterheads*.

Em [Zhao et al. 2007], os autores propõem um esquema de transmissão utilizando RSUs. Este esquema leva em consideração a movimentação dos veículos de forma a evitar um excessivo número de transmissões. Os autores sugerem instalar RSUs estrategicamente em esquinas com o objetivo de otimizar a cobertura de cada transmissão. No entanto, esta abordagem assume que existe uma ampla disponibilidade de RSUs, o que durante muito tempo foi aceito pela comunidade científica, mas atualmente é bastante questionado em novas propostas por conta do custo, uma vez que existem alternativas mais baratas e com grande aceitação mercadológica como a tecnologia LTE, que pode servir como alternativa à RSUs.

Wisitpongphan, em [Wisitpongphan et al. 2007], estudou o período de desconexão

em autoestradas. Neste trabalho o autor observou que este período pode durar de poucos segundos a minutos. A partir deste e outros estudos, uma das abordagens mais frequentemente propostas para lidar com períodos longos de desconexão ficou conhecida como paradigma do *carry-and-forward*, também conhecido como *store-(carry)-forward*, que requer que os nodos ao receberem pacotes, os encaminhem assim que alcançarem a área de cobertura de outros nodos que já pertencem à uma rota pré-definida. Este paradigma é mais um conceito herdado de MANETs. A questão com esta ideia é que aumenta-se o atraso fim-a-fim, não se adequando às aplicações não-tolerantes a atraso, como vídeo em tempo real ou mesmo sinais de alerta, embora este conceito seja de suma importância no que se refere ao uso da mobilidade para a conectividade em Redes Tolerantes à Atraso (do Inglês, *Delay Tolerant Networks* - DTNs). Esta técnica é usada em alguns trabalhos para disseminação de informações [He et al. 2016].

As abordagens iniciais, acima mencionadas, assim como a maioria das propostas de roteamento para seleção de rota (em redes sem fio e com fio) são chamadas de abordagens *baseadas em emissor* (do Inglês, *sender-based*), ou seja, demandam que nodos intermediários encaminhem pacotes para vizinhos, os quais são especificados nos cabeçalhos dos pacotes pelo nodo de origem. Em outras palavras, a rota é estabelecida previamente no nodo de origem e os nodos intermediários exercem apenas o papel de encaminhadores, sem tomar decisões sobre o roteamento. Este tipo de abordagem, cria rotas fim-a-fim, chamadas de *backbones* de veículos, que dependem de informações periodicamente trocadas entre nodos vizinhos. Estas rotas acabam sofrendo de constantes desconexões, além de requisitarem um alto fluxo de mensagens de controle, que por sua vez, nem sempre propagam informações de topologia local com boa precisão.

Uma estratégia diferente de abordagens de seleção de nodos baseadas em emissor são as abordagens *baseadas em receptor* (do Inglês, *Receiver-based*), em que os nodos que estão recebendo pacotes são as entidades que decidem se fazem parte ou não da rota entre nodos fonte e destino(s) [Li and Boukerche 2015]. Desta forma, um nodo encaminhando um pacote simplesmente faz o *broadcast* dos mesmos e os nodos vizinhos decidem qual(quais) irá(irão) participar do processo de roteamento. Propostas baseadas em receptor já existem a um certo tempo, mas têm sido recentemente utilizadas para a disseminação de dados em VANETs [Slavik et al. 2015]. Nessas abordagens, o nodo fonte realiza o *broadcast* de pacotes para que cada nodo na sua vizinhança, recebendo-os, possa decidir se irá fazer um novo *broadcast* ou simplesmente descartá-los. O tempo que um nodo espera para decidir se irá fazer um novo *broadcast* pode ser definido baseado em uma série de fatores, mas inicialmente era determinado comparando-se apenas os nodos vizinhos que estavam mais próximos ou mais distantes do nodo anterior que estava

transmitindo.

Adicionalmente, estas propostas baseadas em receptor requerem que os nodos monitorem o recebimento de pacotes recebidos repetidos. Enquanto em [Nekovee and Bogason 2007], isto é feito através da comparação dos nodos encaminhadores que estão mais próximos ou distantes do nodo antecessor, em [Erdil et al. 2006], a comparação é feita baseado no tempo entre chegada de pacotes duplicados. Neste último trabalho, é apresentada a abordagem Adaptativa para a Disseminação da Informação (do Inglês, *Adaptive approach Information Dissemination - AID*). A AID não considera a disponibilidade de informação sobre localização, assim, o tempo de espera é aleatoriamente escolhido. Quando este tempo expira, a decisão de um nodo para se tornar nodo encaminhador depende de uma comparação entre a média da taxa de recepções duplicadas e o tempo entre essas recepções. Embora esses dois mecanismos levem em consideração o número de transmissões repetidas, eles não refletem diretamente a não-uniformidade da densidade em uma VANET. A abordagem proposta nesta tese (ver Capítulo 4), implementa de maneira mais robusta a heurística *greedy*, que consiste na escolha de nodos mais distantes para a execução do *rebroadcast* dos pacotes recebidos em conjunto com outros parâmetros de qualidade de vídeo, sendo mais adequada à distribuição da densidade de nodos e fluxos em uma VANET.

Em [Tonguz et al. 2007], os autores definem uma solução chamada DV-CAST (*Distributed Vehicular Broadcast*) que usa uma abordagem baseada em receptor quando a rede é densa o suficiente. O conceito interessante neste trabalho é que os autores observaram a importância de se considerar a variabilidade da densidade em VANETs para tomar decisões diferentes. O algoritmo segue uma heurística que utiliza avanço geográfico na auto-seleção dos nodos encaminhadores quando a rede é densa. Em um cenário com densidade média, os nodos mantêm a disseminação até que os mesmos percebam que os pacotes foram encaminhados ao destino. No caso de uma rede esparsa e um nodo não possua nenhum outro vizinho, o algoritmo lança mão de uma abordagem *carry-and-forward* e espera até que o nodo se mova até a área de cobertura de um novo nodo. Como desvantagem, o DV-CAST depende da troca de *beacons* para o reconhecimento da topologia local, o que leva a uma sobrecarga excessiva e frequentes suposições imprecisas.

O encaminhamento baseado em contenção (do Inglês, *Contention-based Forwarding - CBF*) [Kühlmorgan et al. 2016] é um paradigma de seleção de nodos sem troca de informações entre nodos vizinhos (*beacons* ou pacotes de controle), que é realizado em encaminhamento baseado em receptor, onde a seleção dos nodos encaminhadores pode se basear em diferentes fatores, por exemplo, o avanço geográfico, distância, sentido, intensidade de sinal etc. Cada transmissão, através de CBF, desencadeia o processo de

seleção dos nodos de retransmissão; e, quando um nodo decide que é adequado para encaminhar mais um pacote recebido, esta decisão é válida apenas para esta respectiva transmissão. O esquema de supressão com base na área do CBF faz uso do triângulo de Reuleaux para definir a zona de encaminhamento.

Abordagens de roteamento destinadas a ambientes urbanos frequentemente são dirigidas à topologia, como as intersecções das estradas (esquinas), que são locais prioritários para a retransmissão de pacotes entre os pontos finais. A ideia se baseia no fato de que edifícios e construções obstruem a comunicação entre nodos em ruas diferentes, mesmo que a distância entre estes nodos seja menor do que a do alcance de comunicação. O protocolo Tráfego Veicular baseado em Estrada (do Inglês, *Road-based using Vehicular Traffic* - RBVT) [Nzouonta et al. 2009] segue a ideia do uso de intersecções de ruas como pontos de roteamento. Neste trabalho, os autores sugerem duas versões do protocolo, dependendo de como os nodos constroem o seu conhecimento da topologia da rede: uma reativa (RBVT-R) e outra pró-ativa (RBVT-P). Ambos os protocolos têm como objetivo proporcionar informações atualizadas em termos de pontos de intersecção em direção ao destino que contenham veículos disponíveis para retransmitir pacotes. O RBVT-R constrói uma rota para um novo destino sob demanda a partir de um pedido de rota através da rede pelos nodos de origem, mas, diferentemente do que AODV e DSR fazem, a requisição de rota segue uma abordagem baseada em receptor, limitando o problema de *broadcast storms*. Uma vez que o destino recebe a solicitação de rota, ele analisa o caminho atravessado pelo pacote de solicitação e responde com os pontos de intersecção que devem ser seguidos pelo nodo fonte.

A abordagem pró-ativa (RBVT-P) exige que nodos em momentos aleatórios disseminem “pacotes de conectividade” que viajam em segmentos de estradas e pontos de intersecção. O nodo responsável por um pacote de conectividade dissemina a informação obtida para toda a rede. Deste modo, quando um nodo precisa transmitir um pacote, o trajeto já está atualizado para o nodo-destino (supõe-se que a sua localização é conhecida anteriormente). Independentemente da forma como a informação de topologia é recolhida pelos nodos, uma vez que um pacote é enviado, ele usa uma abordagem baseada em receptor que segue as linhas retas entre os pontos de intersecção em direção ao destino. Esta é uma solução interessante que mescla as duas abordagens baseada em receptor e baseada em intersecção, ao mesmo tempo considerando muitas das características de VANETs. No entanto, esta solução assim como as outras soluções supracitadas não consideram requisitos de *streaming* de vídeo. Os resultados mostrados nestes trabalhos não preenchem os requisitos de vídeo e a taxa de dados usado é muito menor do que o necessário para a transmissão deste tipo de conteúdo.

Outros trabalhos têm sido propostos para roteamento em VANETs [Ho et al. 2012, Hsu et al. 2011, Rezende et al. 2014]. Wang Hei Ho, em [Ho et al. 2012], descreve modelos de tráfego estocásticos para estimar a posição de veículos. Ele discute o uso de informações de localização para melhorar as estratégias de roteamento e acesso ao canal, a fim de otimizar a vazão. Em [Hsu et al. 2011], os autores fazem uso do conhecimento local da densidade para adaptar dinamicamente os parâmetros da janela de contenção a fim de evitar colisões excessivas. Em seu trabalho, eles usam trocas periódicas de *beacons* para estimar a topologia. Rezende, em [Rezende et al. 2014], propõe o protocolo VIRTUS que adapta-se a variações na densidade através das observações sobre a recepção de mensagens duplicadas. Em uma abordagem baseada em receptor, mensagens duplicadas são uma indicação de maior densidade (nodos com janelas de espera semelhantes). Esta tese introduz o mecanismo BRQ (Capítulo 4), que é uma abordagem baseada em receptor que utiliza mensagens duplicadas como indicadores de maior densidade. Deste modo, a abordagem aqui proposta é ciente de densidade, não exigindo a troca de mensagens adicionais para a estimativa da topologia.

Esta seção apresentou os desafios, características e abordagens iniciais em VANETs para a tarefa de rotear mensagens pela rede, independentemente de tipo de conteúdo (multimídia ou não). No Capítulo 3, as técnicas de roteamento acima mencionadas e outras que surgiram visando disseminação de *streaming* de vídeo dentro de VANETs são rerepresentadas e devidamente classificadas. No Capítulo 3, o enfoque do roteamento em VANETs é dentro do contexto de *streaming* de vídeos e por esta razão, novos trabalhos serão discutidos.

2.2 LOCALIZAÇÃO EM VANETS

A alta mobilidade de VANETs deslocou a atenção de propostas baseadas em endereçamento IP para propostas baseadas em localização. Ao invés de endereços de rede, a posição geográfica localiza os pontos finais e interessados na comunicação. Para superar o desafio do recolhimento de informações sobre localização, vários mecanismos foram propostos. O mecanismo de localização mais comum e mais amplamente difundido é a triangulação de sinais recebidos dos satélites em órbita. Embora existam outros sistemas propostos (por exemplo, Galileo e GLONASS), o Sistema de Posicionamento Global (do Inglês, *Global positioning system* - GPS) é atualmente o mais utilizado [Zong et al. 2016]. Muitos veículos já vêm com o equipamento necessário para o GPS, e vários outros já foram equipados também ao longo do tempo. Portanto, essa tecnologia é amplamente

disponível em caminhões, ônibus e carros. O GPS fornece uma precisão razoável, com erros de 10 a 30 metros e pode não ser adequado para aplicações que necessitem de elevada precisão. No entanto, os erros de receptores de GPS próximos uns dos outros são correlacionadas, e essa propriedade é usada por GPS diferencial (do Inglês, *Differential GPS* - DGPS) [Katiyar et al. 2016], a fim de fornecer uma precisão melhor. O DGPS tira proveito de erros correlacionados, transmitindo as medidas de GPS colocadas em um local cuja posição real é previamente conhecida.

Outra abordagem conhecida para localização de nodos em um ambiente sem fio é através da análise da comunicação entre nodos e as estações base. Isto é chamado de “triangulação” e requer que o rádio do nodo esteja dentro do alcance de pelo menos três estações base. Esta abordagem baseia-se no conceito de que é possível calcular a posição de um nodo, se a distância ou ângulo entre esse nodo e três pontos não co-lineares possuem posições conhecidas. A distância entre um nodo e uma estação base pode ser inferida pela Intensidade do Sinal Recebido (do Inglês, *Received Signal Strength* - RSSI) ou pelo tempo em que um pacote demora para viajar a partir de um nodo para a estação de base (técnica chamada de *Time of Arrival* - ToA). Além disso, o ângulo através do qual o sinal chega pode ser usado também em uma técnica chamada de Ângulo de Chegada (do Inglês, *Angle of Arrival* - AoA). No entanto, a triangulação não é precisa o suficiente para a maioria das aplicações projetadas para VANETs, com erros de até 250m [Agarwal et al. 2016].

Há duas técnicas que podem ser utilizadas para melhorar a precisão sobre os mecanismos de localização: *Map Matching* [Wang et al. 2017] e *Dead Reckoning* [Basso et al. 2017]. A primeira consiste na utilização de uma vasta quantidade de informação geográfica, como mapas da cidade e estradas, para determinar a área em que um veículo pode realmente estar. Por exemplo, em uma área urbana, se um GPS indica uma posição onde um carro estaria dentro de um museu, lago ou qualquer outro lugar inviável, o sistema poderia ajustar automaticamente a posição para a rua ou avenida mais próxima. O *Dead Reckoning* estima a posição atual de um nodo com base na última posição conhecida e no movimento do veículo (por exemplo, direção, velocidade ou tempo). Esta técnica é adequada para cenários como túneis, onde o GPS não funciona por um período de tempo.

Uma abordagem recentemente proposta para o desenvolvimento de um sistema de localização mais preciso é baseada no conceito de Fusão de Dados [Yongmei et al. 2017]. Neste esquema, a ideia é agregar toda a informação disponível relacionada com a localização de veículos, levando assim a uma informação mais precisa. É possível projetar modelos que forneçam a posição mais precisa com base na disponibilidade de informações diferentes, de modo que quanto mais sistemas de localização estão disponíveis, uma posição mais precisa será informada.

Conforme vários trabalhos recentemente propostos para VANETs, assume-se que a localização dos veículos é algo que pode ser obtido com certa precisão por algum mecanismo, como o GPS. Desta forma, este trabalho considera que a localização de cada nodo pode ser calculada individualmente pelo mesmo.

2.3 *STREAMING* DE VÍDEO EM VANETS

Serviços de *streaming* de vídeo ou são cruciais ou muito valiosos para aprimorar o nível de satisfação e experiência dos usuários para a maioria das aplicações previstas para VANETs. Como mencionado anteriormente, os dispositivos computacionais e telas de exibição disponíveis no interior dos veículos não sofrem as mesmas restrições impostas aos dispositivos de MANETs. Por conseguinte, eles são capazes de reprodução de vídeo de alta qualidade.

O suporte a *streaming* de vídeo em VANETs pode ser usado para melhorar a eficiência dos atendimentos emergenciais em casos de acidentes em estradas através de fluxos de vídeo ao vivo do local do acidente. Estes, podem ser disponibilizados para paramédicos em ambulâncias para um atendimento mais preciso antes mesmo da chegada ao local. Além disso, o mesmo fluxo pode ser encaminhado para hospitais de modo que os médicos em espera podem também reforçar o atendimento. O tratamento inicial dado por paramédicos também pode ser transmitido aos hospitais, desta forma, os primeiros podem executar decisões informadas ou consultadas, além de permitir uma melhor continuação do atendimento no hospital. Neste mesmo cenário, com fluxos de vídeo disseminados, motoristas podem verificar as condições de tráfego e decidir as melhores rotas para o seu destino. Como já é feito em alguns países, veículos são equipados com câmeras que capturam imagens de sua vizinhança, tornando possível para autoridades usarem essas imagens na identificação de outros veículos ou pedestres procurados.

Serviços de *streaming* de vídeo também podem ser usados no entretenimento de passageiros em viagens. Uma aplicação de videoconferência pode ser um serviço muito importante, onde um passageiro em um veículo pode se comunicar com outra pessoa através de áudio e vídeo ao vivo. Jogos *multi-player online* também podem ser oferecidos de maneira a melhorar a experiência geral de passageiros durante as viagens.

Nesta tese, *streaming* de vídeo refere-se à transmissão de conteúdo de vídeo em tempo real que deve ser transmitido e reproduzido instantaneamente a partir de uma câmera local ou armazenada. A característica de “tempo real” dos vídeos significa que o seu conteúdo é de interesse somente em uma pequena janela de tempo após ser transmitida.

Por exemplo, um vídeo que é usado para mostrar as condições de tráfego só é útil para motoristas minutos antes do mesmo decidir qual rota tomar.

O provisionamento de *streaming* de vídeo em VANETs estressa ao máximo os requisitos e desafios dessas redes. A transmissão de conteúdo de vídeo em tempo real difere notavelmente de outros tipos de dados devido à maior quantidade de informações em um vídeo e os requisitos de tempo na entrega dos pacotes, assim, impõe requisitos de atraso e taxa de entrega [Quadros et al. 2015a]. O atraso é a diferença do tempo entre a reprodução de um vídeo pelos receptores e a sua transmissão pelo emissor. É causado pelo tempo gasto para a transmissão de dados através da rede a partir da fonte até o(s) destino(s).

Os requisitos de atraso variam entre as diferentes aplicações. Eles podem ser menos exigentes em serviços como reprodução de vídeo armazenado, no entanto, um atraso excessivo pode causar também uma grave degradação da qualidade experimentada por usuários. A maioria das aplicações para VANETs que requerem transmissões de vídeo são para serviços onde o vídeo deve ser reproduzido nos receptores em tempo real. Nesses casos, o atraso fim-a-fim não deve ultrapassar alguns segundos [Index 2016]. Um conjunto ainda mais exigente de aplicações são aquelas em que as transmissões de vídeo são interativas entre usuários em diferentes extremidades da comunicação (por exemplo, videoconferência). Estes serviços não toleram atrasos de segundos, mas apenas de centenas de milésimos de segundo.

Embora algumas propostas consigam uma média de atraso baixa, a simples variação deste atraso pode impactar negativamente na capacidade de reprodução dos vídeos pelos receptores. O jitter é a métrica que representa essa variação de atraso. No entanto, como apresentado em [Szigeti and Hattingh 2005], o jitter não precisa ser considerado um requisito limitante para transmissão de vídeos, porque para que os requisitos de atraso sejam atendidos, pode-se assumir que soluções simples tais como inserção de *buffers* seriam capazes de resolver.

A transmissão de vídeo é denotada por ser uma aplicação exigente em termos de consumo de largura de banda. Devido à grande quantidade de dados trocados (ou seja, altas taxas de dados), soluções para *streaming* de vídeo geralmente usam uma quantidade substancial de recursos disponíveis. No entanto, estas soluções devem ser capazes de se adaptar a um grande número de nodos na rede e à transmissões de vídeo simultâneas.

Além dos requisitos de atraso e consumo de largura de banda, um dos pontos mais desafiadores de *streaming* de vídeo em VANETs é como alcançar altas taxas de entrega de pacotes. A taxa de entrega é a relação de pacotes/quadros recebidos em nodos de destino

Tabela 2.1: Requisitos de Qualidade de Serviço para Vídeos [Szigeti and Hattingh 2005].

Parâmetro	<i>Streaming</i> de Vídeo	Vídeo Interativo
Taxa de entrega	< 5%	< 1%
Atraso	< 5s	< 150ms
Jitter	Indeterminado	< 30ms

pelo número de pacotes/quadros enviados partindo dos nodos de origem. Taxas mais elevadas de entrega não são facilmente alcançadas devido ao dinamismo das topologias em VANETs, a natureza da comunicação sem fio e a frequente ocorrência de desconexões. No Capítulo 4, uma análise mais profunda é realizada sobre a entrega de pacotes de vídeo, de forma que, é possível perceber que alguns pacotes possuem maior importância que outros e por isso devem possuir prioridade de entrega, permitindo níveis de satisfação maiores no momento da reprodução do vídeo.

Em [Szigeti and Hattingh 2005], um estudo foi realizado para determinar os requisitos de rede em transmissões de vídeo. Embora estes valores possam variar de acordo com a técnica de codificação de vídeo usada, são uma orientação confiável para definição dos requisitos mínimos. Os autores classificaram a transmissão de vídeo em duas classes: *streaming* de vídeo e vídeo interativo. A transmissão de *streaming* de vídeo é definida como a transmissão do conteúdo de vídeo de uma fonte para um ou vários receptores, onde o conteúdo enviado não depende do conteúdo de vídeo produzido pela sua recepção no(s) destino(s). O *streaming* de vídeo não se refere apenas à vídeos pré-armazenados (por exemplo, filmes, programas de TV), mas também pode vir de conteúdo ao vivo (por exemplo, condições de tráfego, alerta de acidentes). A segunda classificação, chamada de vídeo interativo é composta por dois ou mais fluxos de vídeo onde um influencia o outro, o melhor exemplo é o de videoconferência, onde diferentes usuários se comunicam por meio de uma transmissão ao vivo capturada por suas câmeras. A Tabela 2.1 resume os requisitos de transmissão de vídeo em VANETs com base nas duas categorias acima mencionadas. Como salientado anteriormente, o foco nesta tese é sobre o primeiro conjunto de aplicações, *streaming* de vídeo com conteúdo produzido ao vivo.

Como pontuado acima, para vídeos, a taxa de entrega pode ser avaliada tanto em pacotes quanto em quadros. A perda de um pacote pode levar a três diferentes situações em uma transmissão de vídeo: 1) um pacote perdido impacta em um único quadro de vídeo; 2) um pacote perdido pode conter informação de mais de um quadro, assim, se perdido, impede a recepção de vários quadros; e 3) um pacote pode conter apenas algumas informações parciais de um quadro e o receptor pode ser capaz de decodificar este quadro com base em outros pacotes recebidos. A perda de pacotes está fortemente relacionada

à perda de quadros e, por conseguinte, à perda de qualidade do vídeo recebido. Esta proporcionalidade é quebrada apenas se o processo de transmissão tratar diferentemente pacotes que contém informações mais importantes para a qualidade do vídeo. Se este for o caso, métricas baseadas em QoE são mais adequadas (Capítulo 5), por exemplo, *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Mean Opinion Score* (MOS), *Structural Similarity index* (SSIM) etc.

Apesar dos requisitos de QoS impostos sobre transmissões de vídeo, um olhar mais profundo sob a disseminação de *streaming* de vídeos em VANETs revela que deve-se também levar em conta requisitos de QoE. Maximizar a experiência do usuário, é uma tarefa complexa e que não tem sido levado em consideração nas principais pesquisas em VANETs [De Felice et al. 2015, Quadros et al. 2015a]. Enquanto QoS se concentra apenas em estatísticas de gestão e de entrega baseadas em pacotes, a avaliação dos vídeos recebidos em termos de QoE deve ser medida pela subjetiva aceitabilidade dos usuários, tornando-se primordial para o sucesso das transmissões de vídeo [Nam et al. 2016].

2.3.1 As Abordagens Clássicas para *Streaming* Vídeo em VANETS

Uma tentativa em fornecer uma solução viável para disseminação de vídeo é apresentado em [Soldo et al. 2011]. Soldo descreve um protocolo para a camada de Enlace, nomeadamente *Streaming Urban Video* (SUV), que visa selecionar nodos encaminhadores com base nas suas posições em relação ao nodo anterior. A ideia do protocolo SUV consiste em selecionar quatro nodos de encaminhamento diferentes para cada nodo transmitindo, um em cada quadrante da circunferência em torno do nodo, tomando uma distância suficientemente longe para facilitar a disseminação para toda a rede com poucos saltos, mas próximo o suficiente para evitar oscilações de conectividade. O SUV exige que os nodos vizinhos troquem *beacons* contendo as suas posições, tempo (para a sincronização) e uma lista de nodos vizinhos com as respectivas localizações e a potência do sinal percebida pela recepção de seus próprios *beacons*. Todas estas informações são utilizadas na seleção de nodos de encaminhamento e no estabelecimento dos tempos de transmissão dos mesmos. Esta solução exige a troca de uma grande quantidade de dados e a sincronização (tanto em tempo quanto em informação) de muitos nodos. Isso limita a contribuição desta solução devido aos custos e não-viabilidade da coleta de tais informações com alta precisão.

Xie, em [Xie et al. 2007], realizou um estudo da pertinência de algumas técnicas para *streaming* de vídeo *unicast* sobre VANETs e avaliou seu desempenho. A primeira

conclusão é que as abordagens de roteamento baseadas em receptor superam abordagens baseadas em emissor, dado que as primeiras lidam melhor com as constantes mudanças na topologia de VANETs. O autor também analisou o impacto do tamanho do *buffer* dos nodos intermediários (de encaminhamento) na taxa de entrega à medida que são necessários para armazenar pacotes até que uma rota válida para o destino seja encontrada (no caso de soluções baseadas em receptor, isto está relacionado com o tempo de espera antes da transmissão dos pacotes). No seu trabalho, Xie concluiu que é necessário armazenar uma grande quantidade de pacotes a fim de alcançar altas taxas de entrega, mas não é necessário que seja ilimitado já que depois de um certo ponto, as melhorias na taxa de entrega são mínimas com o aumento do tamanho do *buffer*. Além disso, o autor também estudou dois mecanismos diferentes de descarte de pacotes em caso de estouro de *buffer* e observou que, se o tempo de reprodução da informação do pacote é levado em consideração, vídeos com melhor qualidade podem ser decodificados nos receptores. Isto significa que é melhor descartar pacotes contendo informações de quadros que são reproduzidos no início do vídeo do que simplesmente descartar os pacotes mais antigos recebidos. Os autores avaliaram estes aspectos através de cenários com diferentes densidades e as suas observações indicam que os protocolos executam melhor em cenários de alta densidade. Nesta tese (ver Capítulo 5), observa-se que isso nem sempre é exato já que cenários com densidade excessiva estão propensos a aumentos de colisões que deterioram o desempenho geral.

Os autores, em [Asefi et al. 2011], focaram em um cenário de VANETs onde RSUs estão amplamente disponíveis, a maioria das transmissões de vídeo são diretamente conduzidas por RSUs aos veículos e a comunicação via múltiplos saltos não excede três saltos. Neste cenário, a principal preocupação é o fornecimento de *handover* transparente entre RSUs adjacentes para evitar o “congelamento” da reprodução do vídeo. Em um trabalho anterior [Asefi et al. 2010], os mesmos autores chegaram a um modelo analítico para usar requisitos de aplicações de vídeo em protocolos da camadas inferiores, oferecendo uma solução baseada em QoS para a transmissão de vídeo. O principal problema nestas obras é a suposição de uma ampla disponibilidade de RSUs, assim, os problemas da comunicação *ad hoc* são em sua maioria negligenciados.

2.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Embora muitas soluções tenham sido concebidas para MANETs, as mesmas não são adequadas para VANETs. VANETs não sofrem restrições de potência e energia com-

putacional como em MANETs. Além disso, a topologia de VANETs é significativamente mais dinâmica do que as de MANETs. Portanto, fez-se necessário o projeto de abordagens diferentes que levassem em consideração as peculiaridades de VANETs.

As soluções para VANETs são, na sua maioria, focadas sobre as questões de conectividade intermitente e localização devido às mudanças na topologia. Abordagens iniciais e importantes, que serviram como modelo para o desenvolvimento de novas propostas, foram elencadas, como o SUV, baseado em emissor, a AID e o CBF, que utilizam abordagens de roteamento baseadas em receptor, devido à sua capacidade de reagir a mudanças na topologia. No entanto, estas soluções não levam em consideração os rigorosos requisitos de *streaming* de vídeo.

Este capítulo focou nas principais características de VANETs, como o roteamento e localização, bem como os principais desafios e requisitos para a disseminação de *streaming* de vídeos. No Capítulo 3, as principais técnicas e propostas para distribuição de vídeo, baseadas em QoS, que foram desenvolvidas recentemente são sistematicamente apresentadas e classificadas.

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica sobre *Streaming* de Vídeo em VANETs

Como ressaltado em [Chandrakar et al. 2015], protocolos de *streaming* de vídeo tradicionais em redes fim-a-fim não são suficientes para atender os requisitos de QoS e QoE para a distribuição de conteúdo de vídeo, além de que o desempenho destes protocolos pode cair rapidamente sobre redes ad hoc. Diferentes técnicas podem ser aplicadas sobre as camadas TCP/IP para melhorar o QoS, e por conseguinte, a qualidade dos fluxos recebidos. Atualmente, muitas dessas técnicas para *streaming* de vídeo que têm sido utilizadas em VANETs são extensões das técnicas realizadas a priori em MANETs [Ratwani and Shah 2015]. Deste modo, muda-se a forma da implementação dessas técnicas para atender ambientes veiculares com a entrega de conteúdo de vídeo para todos veículos (no caso de disseminação) dentro de uma determinada distância.

Após apresentar os principais desafios para a transmissão de vídeo e discutir as características dos ambientes veiculares (ver Capítulo 2), é importante definir conceitos operacionais relacionados com a construção principal desta pesquisa, que é fornecer QoE na recepção de fluxos de vídeo em tempo real para os veículos receptores. Este capítulo destaca diferentes técnicas que têm sido propostas para fornecer *streaming* de vídeo baseado em QoS e QoE para veículos em movimento e que são definidas em diferentes camadas da pilha de protocolos existente. A análise deste trabalho concentra-se na camada central em que foram desenvolvidas as técnicas propostas. A classificação destas soluções é muito importante para comparar o seu desempenho. Esta classificação apresenta uma visão clara para entender qual protocolo ou técnica está envolvida em variados tipos de aplicações. Além disso, são discutidos trabalhos recentes relacionados a este tema. Como resultado, são identificadas e examinadas as vantagens e desvantagens das técnicas implantadas.

3.1 TÉCNICAS PARA A CAMADA DE ENLACE

A análise da camada de enlace é essencial para todas as soluções de rede. Esta camada gerencia principalmente a interação de dispositivos com o meio compartilhado com ou sem fio usando a sub-camada de Controle de Acesso ao Meio (do Inglês, *Media Access Control* - MAC). Protocolos propostos em VANETs na camada de enlace são extensões do IEEE 802.11 que foram introduzidos para fornecer acesso sem fio em um ambiente veicular, já que abordagens clássicas da camada MAC não são adequadas para fornecer técnicas confiáveis e robustas de transmissão de vídeo [Tanu 2015]. O grande desafio incorre da explosão de confirmações (ACKs) que acontece devido à transmissão de numerosos quadros de controle oriundos de todos os receptores de uma mesma mensagem disseminada. Além disso, outro desafio provém do problema do terminal oculto, que acontece em cenários de *broadcast*, uma vez que mensagens *Request To Send* (RTS) e *Clear To Send* (CTS) não podem ser tratadas da mesma maneira que em cenários *unicast*.

Há vários trabalhos na literatura que propuseram abordagens na camada MAC para fornecer melhores níveis de QoS em redes ad-hoc através da redução de colisão entre nodos ocultos, utilizando quadros de controle. No entanto, o uso de técnicas propostas para redes ad-hoc não é adequado à VANETs devido às suas características específicas. Portanto, um padrão foi desenvolvido para a comunicação de veículos, conhecido como IEEE802.11p, que melhora as abordagens propostas para VANETs em termos de perda de pacotes, atraso médio fim-a-fim e taxa de transferência [Ibáñez et al. 2011]. O padrão IEEE 802.11p tem o mesmo núcleo do IEEE 802.11e, que integra QoS dentro da camada MAC.

O IEEE 802.11e define um novo procedimento de acesso ao meio baseado no Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora com Prevenção de Colisão (do Inglês, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* - CSMA/CA) chamado de Função de Coordenação Híbrida (do Inglês, *Hybrid Coordination Function* - HCF). O IEEE 802.11p segue o esquema Acesso de Canal Distribuído Melhorado (do Inglês, *Enhanced Distributed Channel Access* - EDCA) como um dos métodos de acesso ao meio fornecidos pelo HCF. O EDCA aproveita o *Listen Before Talk* (LBT) e o tempo de *backoff* que são definidos com base em tempos de espera aleatórios e um parâmetro de acesso de canal conhecido como *Arbitration Inter-frame Space* (AIFS). O AIFS, juntamente com o tamanho da Janela de Contenção [CW_{min} , CW_{max}], é atribuído ao tráfego das categorias de acesso para prover acesso distribuído ao canal. O CW_{min} e o CW_{max} são o tamanho mínimo e máximo da Janela de Contenção, respectivamente.

A arquitetura WAVE distingue dois tipos de canais: seis Canais de Serviço (do Inglês, *Service channels* - SCH) que são usados em trocas não-seguras e em dados de fluxo contínuo, e um Canal de Controle (do Inglês, *Control Channel* - CCH), que é reservado para a coordenação de comunicação e entrega de mensagens de segurança [Amadeo et al. 2012]. Veículos usam esta abordagem, alternando periodicamente para o CCH e fazendo o monitoramento de mensagens de aviso e emergência quando a comunicação via SCH é suspensa. Uma vez que uma situação de emergência é resolvida pelas mensagens de segurança, os veículos chaveiam novamente para o SCH e a transmissão de dados sobre o CCH é parada até a troca de canal seguinte. A fim de alcançar acessibilidade multi-canal no WAVE, duas funções EDCA foram desenvolvidas para o SCH e CCH, que lidam com diferentes conjuntos de filas de pacotes [Amadeo et al. 2012]. Por fim, como uma camada de reforço do 802.11p, surgiu a família IEEE 1609, que tem desenvolvido um conjunto de normas para fornecer gestão de recursos em operações de multi-canais, além de lidar com a coordenação de comunicação e problemas de segurança. O Quadro 3.1 sumariza cada padrão dentro da família IEEE 1609.

Com todas as melhorias apresentadas pelo 802.11p para a transmissão de dados através de VANETs, ainda permanecem algumas questões como longos atrasos fim-a-fim devido à mudança entre os diferentes canais e falta de largura de banda garantida em redes de alto congestionamento o que torna o padrão impróprio para ser usado como está atualmente para aplicações mais exigentes como disseminação de vídeo. Portanto, várias técnicas têm sido introduzidas para melhorar a funcionalidade dos padrões IEEE 802.11 e camada MAC para a realização do *broadcast* de dados em VANETs.

Quadro 3.1: Família IEEE 1609.X [Festag 2015].

Padrões	Ano	Função	Descrição
IEEE 1609.1	2006	Gerenciamento de Recursos	Facilita a comunicação entre aplicações remotas e veículos
IEEE 1609.2	2006	Serviços de Segurança	Provê serviços de segurança para aplicações e mensagens de gerenciamento
IEEE 1609.3	2007	Serviços de Rede	Resolve questões da camada de rede
IEEE 1609.4	2008	Operações de Múltiplos Canais	Lida com comunicação através de múltiplos canais

3.1.1 Seleção de nodos Encaminhadores

Realizar a disseminação de dados na rede sem adoção de uma abordagem confiável de *broadcast* pode simplesmente resultar em fortes congestionamentos, trazendo proble-

mas como *broadcast storm* e uma alta percentagem de perda de pacotes. Portanto, os protocolos para *broadcast* de dados devem ser concebidos de forma robusta para coordenação de nodos na entrega de pacotes para um grande número de nodos dentro de um tempo de entrega mais curto possível. Esses fatores aumentam a importância da reestruturação de abordagens da camada MAC para superar problemas de transmissão em múltiplos saltos. Atribuir a tarefa de encaminhamento e agradecimento (ACKs) para apenas um ou um subconjunto de veículos é uma das soluções mais adotadas.

O protocolo *Urban Multi-hop Broadcast* (UMB) [Korkmaz et al. 2004] realiza um processo de *handshake* usando *Request to Broadcast* (RTB) e *Clear to Broadcast* (CTB) para diminuir o efeito de nodos ocultos. Nesta abordagem, a rede é dividida em segmentos e o veículo fonte envia um RTB com a sua localização geográfica para todos os nodos dentro do seu segmento de transmissão. Os nodos que recebem o RTB em cada segmento enviam um sinal chamado *black-burst* no menor tempo possível, onde a duração deste sinal é proporcional à sua distância em relação ao transmissor do RTB. No final do período do *black-burst*, quando o nodo no segmento mais distante detecta ociosidade no canal, os nodos que receberam o RTB em cada segmento alternam para o modo de detecção de canal. Se houver mais de um nodo no segmento mais distante, todos os procedimentos são repetidos para dividir o segmento em outros sub-segmentos utilizados para escolher apenas um nodo no sub-segmento mais distante. Este nodo deve responder o RTB enviando uma mensagem CTB usando seu identificador único e então se torna responsável por encaminhar os pacotes que foram disseminados. O protocolo UMB não precisa de qualquer informação topológica antes de selecionar os nodos de encaminhamento e isso o torna apropriado para se adaptar a qualquer volume de tráfego. No entanto, usando-se o sinal mais longo (*black-burst*) causa-se uma alta latência e não o torna adequado para aplicações sensíveis ao atraso.

No protocolo *Smart Broadcast* (SB) [Fasolo et al. 2006], os autores introduzem um mecanismo de transmissão usado para entregar mensagens de alerta para um grande número de veículos, dentro de um tempo de entrega aceitável. Esta abordagem faz uso de um método diferente do UMB para selecionar os nodos apropriados de encaminhamento. No entanto, semelhante ao UMB, o SB divide a área de transmissão em diferentes segmentos designados por setores. Quando um nodo recebe um RTB, este determina o seu segmento e gera aleatoriamente um tempo de *backoff* de forma que o tamanho da janela de contenção é associado a este segmento. O tempo de *backoff* para cada nodo é determinado com base nas janelas de contenção que são ordenadas a partir dos segmentos mais externos para os mais internos. Como resultado, nodos nos segmentos mais distantes escolhem um tempo de *backoff* aleatório com *slots* de tempo menores. O contador deste

tempo é decrementado e o nodo envia uma resposta CTB sempre que o contador torna-se zero. O transmissor do CTB também é responsável pela transmissão de dados e envio de mensagens ACK para confirmar o recebimento de dados. Os outros nodos que receberam uma mensagem CTB antes que o seu tempo de *backoff* acabe, saem da fase de contenção e esperam para receber os dados transmitidos. Este procedimento garante a seleção do nodo mais distante na faixa de transmissão, como um nodo de encaminhamento. O protocolo SB, ao escolher o nodo mais distante é dependente do tempo mínimo de espera, fato que melhora a funcionalidade em relação ao UMB em termos de tempo de entrega de pacotes. No entanto, esta abordagem utiliza mensagens de respostas para cada pacote enviado, o que pode gerar sobrecarga de mensagens de controle. O Capítulo 4 ilustra que é possível inferir o recebimento de pacotes por um nodo de encaminhamento através de uma técnica chamada de ACK passivo (do Inglês, *passive acknowledgment*) [Heissenbüttel et al. 2004], evitando demasiadas mensagens de controle que podem atrapalhar os fluxos contínuos de vídeo.

3.1.2 Controle de Congestionamento da Rede

Como discutido no Capítulo 2 - Seção 2.1.2, o congestionamento da rede é um dos desafios que devem ser tratados em VANETs, especialmente quando uma grande quantidade de dados deve ser transferida rapidamente. As tecnologias IEEE 802.11 podem oferecer soluções mais adaptativas para garantir um compartilhamento mais justo da largura de banda, o que reduz significativamente o impacto do congestionamento da rede. Ajustar a taxa de quadros, controlar o tempo de *backoff* e o tamanho da janela de contenção são soluções viáveis para o controle de congestionamento de rede, que podem ser abordadas de diferentes maneiras, descritas abaixo.

- **Taxa de Quadros Adaptativa:** Maurizio A. Bonuccelli, em [Bonuccelli et al. 2007], propôs a aplicação de salto de quadros e transcodificação em conjunto com uma técnica para redução da taxa de transmissão sobre o IEEE 802.11 que ajuda a melhorar a qualidade de serviço de vídeo em tempo real em cenários de rede congestionada. O salto de quadros pode ocorrer quando o emissor controla o atraso no acesso ao canal para a transmissão de um quadro de vídeo. Se o nodo transmitindo detecta que um quadro chegou atrasado para si, evita o desperdício de largura de banda, descartando este quadro F . Neste caso, aplica-se transcodificação temporal e o processo de decodificação nos receptores baseia-se no quadro recebido anteriormente (isto é, $F - 1$). Se o quadro é transmitido através da rede fora de um atraso aceitável, não será exibido nos receptores. No entanto, este quadro participa

na decodificação do quadro seguinte ($F + 1$). No caso de dois ou mais quadros consecutivos saltados, o nodo de origem assume que a rede está congestionada e, conseqüentemente, reduz a taxa de quadros.

- **Controle do tempo de *backoff* e janela de contenção:** Vários protocolos propostos, como em [Hsu et al. 2011, Stanica et al. 2011], sugerem a modificação no tempo de *backoff* para controlar o congestionamento nas redes e, conseqüentemente alcançar melhor qualidade dos vídeos transmitidos. A maioria destas abordagens propõem um ajuste dinâmico do CW_{min} para determinar o tempo de *backoff*. Em alguns esquemas propostos, a obtenção deste tempo de *backoff* depende unicamente da duração de colisões no canal. Porém, isto não é adequado em casos de perdas de pacotes que ocorrem por outras razões que não sejam colisões, e, portanto, não deve ser o único fator utilizado para alcançar um CW_{Min} ideal. O *Applying Adoptive Offset Slot* (AOS) [Hsu et al. 2011] é um mecanismo que se propôs a modificar o tempo de *backoff* no IEEE 802.11p e foi desenvolvido com base em diferentes soluções. Esta abordagem sugere um mecanismo (na camada MAC) que controla o tempo de *backoff* com base no valor mínimo modificado de CW . Para o AOS, o valor de CW_{Min} é alterado dependendo do número de veículos vizinhos que são definidos na função que estima o congestionamento. O número de vizinhos é calculado considerando as mensagens de *Hello* na região, uma vez que escuta-se o canal de controle durante o intervalo de *backoff*. Na próxima etapa, uma função de criação de *slots* de tempo é calculada dependendo do número de veículos vizinhos. O número de *slots* se adicionam ao valor mínimo do tamanho de janela de contenção para obtenção de um novo CW_{min} dependendo do volume de veículos. Como resultado, colisões são reduzidas e a taxa de entrega de pacotes é elevada. No entanto, o aumento do valor mínimo da janela de contenção nem sempre é uma solução prática, especialmente para aplicações de segurança onde os veículos mudam as *Cooperative Awareness Messages* (CAMs) periodicamente e valores maiores de CW_{min} aumentam o tempo de espera de beacons na camada MAC. Quanto maior o tempo de espera, pode-se resultar em transmissão de CAMs expirados que transferem informações desatualizadas para os veículos e desperdiçam largura de banda compartilhada. Para lidar com CAMs desatualizadas, R. Stanica, em [Stanica et al. 2011], sugere um método para modificação do tempo de *backoff* para garantir um equilíbrio entre colisões e beacons expirados. De acordo com esta abordagem, o valor CW é definido para o tamanho máximo por padrão e é dividido por dois após qualquer CAM expirada. Sempre que um beacon é transmitido com sucesso, o tamanho da janela de contenção volta para o seu valor máximo. Este método tem sido usado para tratar o

problema de nodos ocultos, dando prioridade de transmissão para os veículos que experimentam um maior número de CAMs expirados e um menor número de colisões, ao mesmo tempo diminuindo a probabilidade de expiração de tempos de *backoff*.

3.1.3 Propostas baseadas em QoS

Como discutido no início da Seção 3.1, o espectro do WAVE é composto de sete canais de 10 MHz cada, incluindo seis SCHs e um único canal CCH. De acordo com o projeto original do 802.11p, as mensagens em VANETs são divididas em mensagens de segurança e mensagens de não-segurança e são priorizadas com base nessa classificação. Para melhorar o QoS sobre o 802.11p, novas classificações melhoram os serviços prestados em termos de parâmetros relacionados a QoS, como atraso e largura de banda compartilhada.

Apesar do 802.11p ter sido idealizado para aplicações de segurança e, uma vez que o objetivo principal deste trabalho é em abordagens de disseminação de vídeo com qualidade, investigando protocolos propostos para serviços de vídeo, é possível um aprofundamento melhor para atingir esse objetivo. O *WAVE-based Hybrid Coordination Function* (W-HCF) é um protocolo da camada MAC proposto em [Amadeo et al. 2012] para fornecer aplicações de informação e entretenimento (*infotainment*) melhorando o padrão IEEE 802.11p. Este protocolo estabelece uma distinção entre aplicações sensíveis a QoS e aplicações não-sensíveis a QoS em serviços não voltados a segurança. O W-HCF trata serviços sensíveis a QoS de uma maneira diferente do 802.11p, mantendo a largura de banda disponível para serviços não sensíveis a QoS. Este método baseia-se na reserva de recursos por meio de sinalizações extras, o que não tem um efeito negativo sobre os serviços de segurança prestados através do CCH. No entanto, prestadores de serviços sensíveis a QoS mantêm o controle dos veículos na sua cobertura, adaptando uma técnica de sondagem para evitar a reserva de recursos excessiva para usuários dos serviços sensíveis a QoS.

3.2 TÉCNICAS PARA A CAMADA DE REDE

Um número significativo de abordagens para *streaming* de vídeo em VANETs são fortemente dependentes do roteamento [Liu et al. 2016a]. A maior parte destes protocolos são extensões de esquemas de encaminhamento propostos para distribuição de conteúdo de vídeo em MANETs que são redesenhados com base nas características de VANETs [Gerla

et al. 2014]. Técnicas envolvidas em protocolos de roteamento podem ser classificadas como técnicas para a Camada de Rede, uma vez que a principal tarefa da camada de rede é encaminhar os pacotes de dados, bem como proporcionar o roteamento para estes pacotes. Geralmente, os protocolos de roteamento podem ser divididos em quatro categorias principais: *broadcast*, *multicast*, *unicast*, e *geocast*. Nesta tese, o foco principal é em abordagens de *broadcast* para a transmissão de vídeo em VANETs. Várias aplicações, incluindo segurança e emergência devem entregar mensagens para todos os veículos na rede com alta taxa de entrega, tempo mínimo de chegada de pacotes e elevado nível de QoE. Como mencionado anteriormente, os dados multimídia são naturalmente mais pesados e a colisões de pacotes é um problema muito comum em transmissão de vídeo. Além disso, problemas de *broadcast storms* podem acontecer frequentemente quando um grande número de veículos dentro da mesma vizinhança retransmite os pacotes ao mesmo tempo. Portanto, é necessária uma abordagem confiável de disseminação para evitar um número elevado de colisões de pacotes, *broadcast storms* e, por conseguinte, perda de qualidade em transmissões de vídeo. Esta Seção apresenta diferentes abordagens de roteamento que melhoram a transmissão de vídeo para atingir níveis de QoS aceitáveis em VANETs.

3.2.1 Abordagens orientadas à Topologia

Como visto no Capítulo 2 - Seção 2.2, um número significativo de veículos nas estradas estão equipados com unidades de bordo. Como resultado, cada veículo tem informação adequada sobre a sua localização geográfica e sua posição em relação a outros veículos na mesma região. Adaptando-se as capacidades de comunicação sem fio, permite-se que veículos compartilhem suas informações de topologia com os outros veículos de maneira a facilitar a prestação de serviços nas estradas.

- **Abordagens orientadas à intersecções:** Veículos são capazes de detectar cruzamentos usando mapas digitais pré-carregados e informações de GPS. Várias abordagens propostas tem implantado essas tecnologias para aproveitar intersecções que apareçam no “caminho” da transmissão dos pacotes. Em [García-Campos et al. 2016], os autores propõem um estudo baseado em cruzamentos para reduzir o atraso fim-a-fim. Outras propostas baseadas em intersecção, como em [Darwish and Bakar 2016], sugerem a instalação de repetidores em intersecções rodoviárias, assim, se o nodo de origem está dentro da faixa de transmissão de um repetidor, o nodo envia os pacotes para o repetidor utilizando o IEEE 802.11 e o repetidor envia estes pacotes para todas as direções de estrada, exceto na direção onde este recebeu os pacotes.

- **Abordagens orientadas à densidade:** Em VANETs, a distribuição de veículos através da rede não é homogênea, a densidade de veículos varia significativamente dependendo de vários fatores, como a popularidade de uma rota, a sazonalidade do tráfego, semáforos, acidentes e outros eventos inesperados. Soluções que consideram distribuição uniforme dos veículos podem sofrer ou da quebra de conexões em regiões de baixa densidade, ou sobrecarga excessiva em regiões com alta densidade. Por esta razão, alguns trabalhos, como em [Dora et al. 2017], projetam maneiras de estimar a densidade local e com base em tais informações, tomar medidas diferentes.
- **Abordagens orientadas à similaridade de movimentos:** A seleção do próximo salto é uma questão crítica para garantir a aceitabilidade e eficiência em transmissões sobre VANETs. Mapas de rotas e informações de topologia, como a posição de veículos, direção e velocidade, fazem o movimento dos mesmos mais previsíveis, o que pode ser explorado para melhorar características de roteamento. Em [Wang et al. 2014, Rezende et al. 2015b, Wang et al. 2012], os autores propõem abordagens de roteamento geográfico para transmissões de vídeo V2V em VANETs. Essas abordagens usam modelos bayesianos baseados em localização para prever para onde os veículos vão se mover, e, assim, construir rotas confiáveis através de janelas de contenção que consideram tais previsões. LIAITHON ([Wang et al. 2014]) utiliza um temporizador para descobrir múltiplas opções de caminhos (abordagem *multipath*) curtos e estáveis.

3.2.2 Seleção de Nodos

Como discutido anteriormente, os nodos intermediários, quando escolhidos de maneira adequada, podem ser usados na transmissão de dados para minimizar a redundância, colisão e latência de pacotes. Como nesta seleção apenas um subconjunto dos nodos receptores participam da retransmissão das mensagens, é importante escolher os nodos adequadamente, de tal modo que, otimize-se a vazão da rede. Esta seção apresenta as estratégias de seleção de nodos de retransmissão com base na natureza da escolha dos mesmos, que se dividem em duas categorias: (1) seleção baseada em emissor ou (2) seleção baseada em receptor.

- **Seleção baseada em emissor:** Conforme introduzido no Capítulo 2 - Seção 2.1.3, geralmente, na estratégia de seleção de rotas baseadas em emissor, o nodo de origem é responsável pela atribuição da tarefa de encaminhamento para um ou mais nodos de retransmissão. A fim de avaliar a capacidade de encaminhamento desses nodos

candidatos, os nodos fontes precisam manter informações de seus vizinhos, como sua posição, direção e velocidade a fim de formar rotas. Portanto, todos os nodos devem distribuir sua informação local proativamente através de mensagens de *broadcast*. Depois de estar ciente de todos os nodos vizinhos candidatos, diferentes critérios podem ser usados para a seleção dos melhores candidatos. Existem abordagens que tomam decisões em função do sentido do movimento da transmissão, do ângulo entre nodos, velocidade, *buffer* ocupado etc [Quadros et al. 2014, Xie et al. 2007]. Estes fatores podem variar dependendo do tipo de aplicação, a fim de otimizar a qualidade de serviço em disseminações de vídeo. O problema com seleção de rotas baseada em emissor é o fato de que estas rotas fim-a-fim sofrem de frequentes interrupções, obrigando os nodos na rede a disseminarem periodicamente suas informações de localização novamente para o nodo fonte, que nem sempre estão disponíveis ou são precisas [Slavik et al. 2015].

- **Seleção baseada em receptor:** Nas estratégias de seleção de rotas baseadas em receptores, os nodos responsáveis pela retransmissão ou não das mensagens recebidas são os próprios nodos vizinhos candidatos. Em contraste com a estratégia baseada em emissor, abordagens que usam estratégia baseada em receptores são principalmente reativas e não dependem de informações de topologia. Para satisfazer as exigências de seleção ideais, os nodos candidatos empregam outras técnicas como o uso de um temporizador de retransmissão, que é definido com base em diversos fatores, como a distância em relação ao nodo anterior ou em relação ao destino [De Felice et al. 2015, Quadros et al. 2015a], cálculo do tempo entre chegadas de pacotes duplicados consecutivos ou o envio de uma mensagem de confirmação a partir do primeiro nodo retransmissor com o objetivo de parar a retransmissão por outros possíveis nodos vizinhos candidatos a nodos de encaminhamento [Slavik et al. 2014]. De acordo com vários estudos, mecanismos de encaminhamento baseados em receptor superam esquemas de encaminhamento baseados em emissor em termos de entrega, atraso de pacotes e colisões, sendo, portanto, mais adequados para fornecer serviços de distribuição de vídeo em VANETs [Di Felice et al. 2013, Quadros et al. 2015a, Slavik et al. 2014, Slavik et al. 2015].

Para o caso de VANETs heterogêneas, as quais estão sob a presença de uma rede LTE, recentemente, muitos autores tem proposto protocolos de roteamento visando LTE-VANETs. O LTE fornece disseminação de dados para muitos usuários dentro de uma área geográfica sob uma fina granularidade. Muitos trabalhos atuais assume que os veículos transmitem os dados das aplicações diretamente para as eNBs ou através de esquemas de clusterização (isto é, os membros do *cluster* se comu-

nicam com *cluster heads* usando o IEEE 802.11p e os *cluster heads* se comunicam com eNBs via LTE). Em [Ucar et al. 2016], os autores apresentaram uma arquitetura heterogênea, chamado VMaSC-LTE, que combina clusterização IEEE 802.11p e LTE com o objetivo de alcançar alta taxa de entrega de pacotes com uso mínimo da infraestrutura LTE. Em [Salvo et al. 2016], os autores propuseram um esquema de transmissão de FCD via formação de *clusters* em uma LTE-VANET. Em [Jia et al. 2014], os autores introduziram um modelo baseado em Markov para mitigar transmissões de FCD em VANETs heterogêneas. Estes trabalhos visam reduzir as taxas de tráfego transmitidas através do LTE, no entanto, não examinam transmissões de tráfego de dados de longa duração, por exemplo, vídeos em tempo real e não consideram parâmetros relacionados ao vídeo para tomada de decisão. Além disso, uma arquitetura baseada em LTE puro não é viável para comunicação veicular devido à sobrecarga das eNBs por pacotes provenientes de uma densidade de tráfego de veículos elevada, que afeta diretamente outros fluxos LTE, por exemplo, FCD e H2H [Salvo et al. 2016].

Desta forma, arquiteturas híbridas (V2V e V2I) representam uma maneira viável para transmissão de *streaming* de vídeos sobre LTE-VANETs, aliviando o congestionamento através das redes LTE. A comunicação V2I (entre veículos e eNBs) ocorre somente para sinalização, descoberta e gerenciamento de rotas, enquanto a comunicação V2V (somente entre veículos) prossegue para a disseminação dos dados de vídeos. A seleção de nodos nesses casos, a qual faz parte da descoberta e manutenção das rotas, em LTE-VANETs ocorre com a ajuda da rede LTE, porém é majoritariamente realizada entre os próprios nodos da VANET, podendo ocorrer tanto por meio de seleção baseada em receptor, quanto por meio de seleção baseada em emissor.

3.2.2.1 Protocolos de Roteamento Estatísticos

Uma subclassificação de abordagens para seleção de nodos baseadas em receptor é a de Protocolos de Roteamento Estatísticos (do Inglês, *Statistical Routing Protocols* (SRPs) [Torres et al. 2015, Quadros et al. 2015b]. Se a seleção de nodos faz uso de uma comparação entre um valor localmente calculado e algum valor de *threshold* para a definição dos próximos veículos encaminhadores, então o protocolo é classificado como um SRP. Nesta categoria, seguindo as abordagens baseadas em receptor, os próximos nodos de encaminhamento são escolhidos com base em uma fase de contenção distribuída salto-a-salto, onde os nodos candidatos decidem por eles mesmos, quais nodos irão retransmitir

em *broadcast*, os pacotes de vídeo. Em SRPs, a seleção de nodos de encaminhamento (chamada de processo de criação de *backbone*), é realizada sem a necessidade de rotas estáticas fim-a-fim, permitindo transmissões mesmo no caso de mudanças na topologia da rede, o que possibilita transferência de fluxos mais longos como vídeos, de maneira mais robusta.

A grande diferença que distingue um SRP, está no fato de que nesse tipo de protocolo, todos os nodos candidatos comparam alguma variável calculada localmente através de uma função em relação à um valor pré-estabelecido de limiar (*threshold*). Todos os nodos que tiverem um valor abaixo do limiar, propagam as mensagens ainda mais para os seus vizinhos. Essa variável pode depender de vários parâmetros de rede, como distância em relação ao nodo fonte [De Felice et al. 2015], distância para o meio espacial [Slavik et al. 2014], intensidade de sinal recebido [Quadros et al. 2015a], densidade local [Torres et al. 2015] etc.

Apesar dos SRPs permitirem melhorias no desempenho da rede, os protocolos existentes não exploram eficientemente fatores como o posicionamento dos veículos, parâmetros de rede e variáveis relacionadas à vídeo em uma proposta integrada. Desta forma, mecanismos direcionados à QoE, que empregam informações-chave de vídeo, tais como hierarquia de quadros e estimativa da distorção de vídeos (causadas pela probabilidade de perda e rajadas de perda de pacotes), podem ser acoplados como "apontadores do nível de QoE" para o apoio a um monitoramento e decisão de encaminhamento alto-organizado e em tempo real no nível de roteamento [Aguiar et al. 2014]. Neste sentido, o Capítulo 4 apresenta um dos mecanismos desenvolvidos durante essa pesquisa de doutorado, e que pode ser adicionado aos SRPs existentes, provendo melhorias na qualidade do vídeo que é disseminado em uma VANET.

As três estratégias de encaminhamento fundamentais que se encontram na categoria de SRPs são estratégia Baseada em Contador (do Inglês, *Counter-Based* - CB), estratégia Baseada em Distância (do Inglês, *Distance-Based* - DB), e estratégia Baseada em Localização (do Inglês *Location-Based* - LB) [Torres et al. 2015]. Na estratégia CB, os nodos simplesmente contam o número de vezes que cada pacote é recebido durante a fase de *backoff* para determinar o número de vizinhos que até então têm retransmitido os pacotes. A estratégia LB, por sua vez, emprega o compartilhamento de informação de posicionamento para promover retransmissões principalmente em áreas não cobertas. Por último, a estratégia DB seleciona os nodos que não receberam pacotes provenientes de outro nodo nas proximidades, para se tornarem nodos de encaminhamento. Ou seja, durante a fase de *backoff*, os nodos observam quais de seus vizinhos estão transmitindo e, quando a distância dos vizinhos transmitindo é maior do que um dado valor limiar de distância, o

nodo (escutando) retransmitirá os pacotes recebidos. Estas estratégias têm sido utilizadas para projetar muitos protocolos, incluindo alguns usando características de abordagens topológicas (orientadas à densidade, similaridade de movimentos e intersecções).

Em [Mohammed et al. 2009], autores publicaram versões melhoradas das estratégias de encaminhamento dos SRPs acima através da adição de parâmetros relacionados à densidade para reduzir *broadcast storms*. Em [Martinez et al. 2010], seguindo as recomendações da estratégia de encaminhamento DB, autores propuseram um mecanismo de *broadcast* que leva em consideração particularidades de VANETs. Visando a disseminação de alertas de emergência em cenários urbanos e de auto-estrada, este trabalho usa informação do leiaute da cidade para alcançar uma disseminação adaptativa. No caso de cenários de auto-estrada, a proposta não difere significativamente da estratégia DB. Em [Slavik and Mahgoub 2013], os autores propuseram o protocolo *Distribution-Adaptive Distance with Channel Quality* (DADCQ). O DADCQ é um SRP baseado em Distância que se adapta ao padrão de distribuição e qualidade de canal para *broadcast* V2V em múltiplos saltos. Em [Di Felice et al. 2013], os autores apresentam um protocolo *geocast* e baseado em contenção para disseminação multimídia em VANETs, chamado *Dynamic Backbone Assisted* (DBA) MAC. No DBA-MAC, a formação dos *backbones* usa parâmetros de QoS e posicionamento como qualidade do sinal recebido, localização dos veículos e velocidade.

A partir dos estudos acima, torna-se claro que têm sido realizada uma grande pesquisa em estratégias de roteamento estatístico para VANETs que consideram parâmetros de posicionamento. No entanto, como reconhecido em [Asokan 2010] e [Matos et al. 2012], as técnicas existentes de roteamento falham em resolver as necessidades de aplicações sensíveis a atraso e centradas em conteúdo, por exemplo, disseminação de vídeo em tempo real, que estão crescendo cada vez mais sobre essas redes. Isto acontece porque um simples parâmetro baseado em QoS ou posicionamento pode ser bastante falho quando o desempenho fim-a-fim de tais aplicações é considerado. Por exemplo, encontrar os requisitos em termos de QoS do número de saltos pode ainda levar a um inaceitável nível de QoE para disseminação de vídeos. Assim, esses protocolos não levam em conta parâmetros baseados em vídeos para o processo de seleção de nodos encaminhadores e manutenção de *backbones*.

Em geral, apesar dos estudos mencionados acima proverem um bom número de estatísticas, nenhum deles apresentam o impacto dos seus esquemas a partir da perspectiva do usuário, por exemplo, através da medição de métricas de QoE, como SSIM e MOS (que serão explicadas no Capítulo 5), assim, esses estudos não levam em consideração questões que tipicamente surgem, tais como interdependência entre quadros. Felice, em

[De Felice et al. 2015], propôs a primeira abordagem de um experimento real onde usa-se um aplicativo reprodutor de vídeos em um tablet, capaz de representar avaliação de vídeos transmitidos em VANETs. Neste trabalho, Felice apresentou uma plataforma de simulação e um experimento de avaliação de vídeos específico para VANETs para obter resultados de QoE, seguindo as recomendações apresentadas por Aguiar em [Aguiar et al. 2014], e assim provendo uma abordagem bastante útil para simular e avaliar transmissões de vídeo precisamente.

Em [Rosário et al. 2014], os autores propuseram o protocolo *Link quality and Geographical Opportunistic Routing* (LINGO). Um protocolo baseado em receptor que usa parâmetros de qualidade de sinal recebido e posicionamento para computar o tempo de *backoff* e emprega um esquema de controle de erros, nomeadamente FEC para impulsionar a disseminação de vídeos em redes móveis. Apesar de não ser um trabalho específico para VANETs, o LINGO prova que o uso de esquemas de controle de erros na camada de aplicação melhoram fortemente a qualidade recebida dos vídeos transmitidos em ambientes sem fio e com alta mobilidade. No entanto, o LINGO usa apenas uma amostra de pacote para definir o melhores nodos de encaminhamento, o que pode causar resultados falso-positivos na medição da qualidade do sinal recebido. Além disso, em [Aziz et al. 2012], os autores concluem que há um custo muito significativo em termos de sobrecarga e/ou atraso devido a criação de quadros redundantes com o FEC, ao invés de, por exemplo, interpolação de quadros com a técnica do Entrelaçamento, o que pode acarretar *broadcast storms* devido ao aumento brusco do número de pacotes redundantes na rede.

Com o objetivo de uma alcançabilidade satisfatória para disseminação de vídeos em VANETs, em [Slavik et al. 2014] e [Slavik et al. 2015], os autores introduzem o método Distância-para-o-Meio (do Inglês, *Distance-to-Mean - DTM*), o qual estende a estratégia DB, onde os nodos devem realizar o *rebroadcast* dos fluxos de vídeo quando cobrem uma grande quantidade de área física que não está sendo coberta por nodos vizinhos. Similarmente, em [Torres et al. 2015], os autores propõem o *Automatic Copies Distance-Based* (ACDB), um esquema que usa mensagens de *beacons* para realizar disseminação de vídeos em VANETs através de uma abordagem que estende as estratégias DB e CB para cobrir áreas com variação da densidade de veículos. Esses protocolos atingem bons níveis de alcançabilidade com poucos saltos, e previnem *broadcast storms*. Apesar do ACDB usar uma métrica baseada em QoE, chamada *PSNR Peak Signal-to-Noise Ratio*, para avaliar os vídeos recebidos, uma limitação desses protocolos consiste do seu funcionamento com um simples parâmetro de posicionamento para computar a fase de contenção, reduzindo assim a capacidade da rede em transmissões de dados com longa duração, como *streaming* de vídeos. Além do mais, não somente o PSNR, mas também outros experimentos para

avaliação do QoE e métricas objetivas mais sofisticadas, como visto no Capítulo 5, devem ser aplicados para a avaliação dos vídeos recebidos, uma vez que o PSNR, por si só, não correlaciona-se bem com a subjetiva aceitabilidade dos usuários [Aguiar et al. 2014]. Nesta tese, o DTM e o ACDB são usados como SRPs para comparação.

Além das avaliações de *streaming* de vídeo com métricas de QoE para SRPs, alguns trabalhos tem sido propostos para estimar QoE em tempo real em redes móveis. Estas obras geralmente usam análises objetivas da qualidade do tráfego multimídia, isto é, eles apresentam alguma técnica matemática ou modelo baseado em métricas que podem ser medidas objetivamente e avaliadas automaticamente. Somente tais procedimentos podem ser aplicados em ambientes móveis cujas limitações de rede fazem impossível o acesso a partes do vídeo de referência. Por exemplo, em [Crespi and Falk 2014], os autores propuseram uma técnica dirigida a usuários para medição de QoE via *smartphone*. Em seu trabalho, um aplicativo é usado para medir o ponto-de-vista dos usuários em serviços multimídia. Eles adotaram múltiplos parâmetros de rede em sua estimativa de QoE. Em [Han et al. 2012], o autor propôs um algoritmo de escalonamento de QoE desenvolvido usando o ambiente e os fatores de equipamentos que influenciam o QoE de usuários com respeito ao QoS da rede. No entanto, em seus estudos, eles somente consideraram vazão e *bitrate*. Em [Mushtaq et al. 2012], um mecanismo com uma máquina de aprendizado foi usado para realizar previsões de QoE. Uma Árvore de Decisão opera como um modelo de QoE objetivo, a qual foi comparada com outros métodos de aprendizagem automática (Floresta Aleatória, Redes Neurais e Naïve Bayes). Em seus resultados, notou-se que Floresta Aleatória operou melhor quando foi comparada com os outros.

Os autores, em [Liu et al. 2016b], estudaram a variação quantitativa do QoE em relação ao QoS através da medição objetiva de parâmetros de QoS. Assim, eles definiram uma dependência linear sobre o nível de QoE derivando uma equação diferencial. Esses trabalhos falharam quando não levaram em consideração a estrutura hierárquica dos CODECs de vídeo, parâmetros relacionados a vídeo e o efeito da perda de diferentes tipos de pacotes e padrões de perda na qualidade dos vídeos recebidos. Além disso, eles simplesmente estenderam os parâmetros de QoS para estimar QoE.

Em [Seufert et al. 2016], os autores apresentaram um trabalho nomeado de Abordagem de Camadas visando melhorar o QoE de serviços em redes móveis. A abordagem combina desempenho da rede, características de experiência dos usuários e indicadores de desempenho relacionados com a aplicação para obter um modelo para estimativa de QoE. Em [Charonyktakis et al. 2016], os autores propuseram um mecanismo que prediz a qualidade de conversação de voz baseado em características de dispositivos e parâmetros de transporte. Os autores assumem que a degradação do QoE causada por vários fatores,

tem um impacto coletivo na qualidade de comunicação. O resultado do modelo é convertido em uma escala de notas traduzidas no MOS. Estes trabalhos focam em aplicações de Voz sobre IP, e não podem ser usados em cenários de disseminação de vídeos em tempo real. Shu Tao, em [Tao et al. 2008], propôs um *framework* que leva em consideração a hierarquia de quadros [Yao et al. 2014], diferentes tipos de CODECs, padrões de perda de pacotes e estimativa de distorção de vídeo (causada por probabilidade de perda e explosão de perda) para estimar QoE em tempo real. Devido à aplicabilidade deste *framework* aliada às particularidades de SRPs (sem trocas de mensagens e estratégia baseada em receptor), este trabalho irá usar o modelo proposto em [Tao et al. 2008] (para o processo de seleção de rotas) e em [Bergstra and Middelburg 2006] (para ranquear os resultados encontrados em MOS). Assim, este *framework* será acoplado em um SRP como um apontador para o QoE, criando uma decisão de encaminhamento com monitoramento em tempo real e auto-organizada no nível de roteamento. Neste contexto, este trabalho estende os conceitos e modelos atuais da literatura [Quadros et al. 2016].

Como denotado em [Mezghani et al. 2014], o protocolo de disseminação deve ser baseado em um método eficiente que possa aumentar a satisfação dos usuários em distribuir o conteúdo apropriadamente. Soluções baseadas em SRPs são adequadas para o *broadcast* em VANETs, uma vez que os veículos não precisam difundir mensagens proativamente, evitando *broadcast storms*. No entanto, os SRPs existentes não levam em consideração QoE para disseminação de vídeo, isto é, parâmetros relacionados à vídeo, portanto, eles não asseguram qualidade no *streaming* de vídeo recebido. Além disso, é importante avaliar novos esquemas de roteamento baseados em vídeo através do uso de métricas de QoE. Ainda, essas abordagens não combinam eficientemente um esquema de controle de erros com baixa sobrecarga na disseminação do conteúdo. Nenhuma dessas características é oferecida unificadamente em um SRP até agora, assim, as propostas existentes carecem de robustez e suporte à QoE.

3.3 TÉCNICAS PARA A CAMADA DE APLICAÇÃO

Um fluxo de vídeo é composto por uma sequência de imagens conhecidas como quadros. Cada quadro é composto por elementos mais pequenos chamados pixels. Conforme discutido no capítulo anterior, um dos principais desafios na transmissão de vídeo está em decodificar quadros de vídeo nos receptores finais, considerando a alta probabilidade de perda e atraso em VANETs [Kazui and Yamada 2016]. A codificação de vídeo é um ponto chave para enfrentar este desafio. A redução na taxa de bits em *streams* e deco-

dificação de fluxos de vídeos a partir dos quadros recebidos, preservando uma qualidade aceitável (mesmo que este número seja inferior aos quadros enviados), é possível através do emprego de técnicas de codificação de vídeo na Camada de Aplicação.

O comitê internacional de padronização *Moving Pictures Experts Group* (MPEG) e o H.26x (uma família de padrões de codificação de vídeo avançados), definiram um conjunto de normas de codificação de vídeo. O princípio destas normas é implantar redundância entre quadros (*inter-frame*), bem como dentro dos próprios quadros (*intra-frame*). Para a redundância *intra-frame*, quadros de vídeo dividem-se em macroblocos de pixels usando a Transformada Discreta do Coseno (do Inglês, *Discrete Cosine Transform* - DCT). Por outro lado, a codificação *inter-frame* divide quadros em três tipos: quadros I (Intra), quadros P (Preditivo) e quadros B (Bi-direcional) que estão organizados em Grupos de Imagens (do Inglês, *Groups of Pictures* - GOPs). Quadros I são codificados de forma independente e o recebimento de um número maior de quadros I é diretamente proporcional à qualidade de vídeo, enquanto que os quadros P e B podem ser recuperados a partir de quadros I anteriores. Além disso, uma versão melhorada destas normas, MPEG-2 e MPEG-4/H.264/AVC foram introduzidos e tiveram um melhor impacto em eficiência de codificação [Aguiar et al. 2014].

A Subseção 3.3.1 investiga as técnicas que são implantadas para codificação de vídeo escalável e com correção de erros para aprimorar o QoS e diminuir a percepção dos erros de transmissão de vídeo em VANETs.

3.3.1 Codificação de Vídeo em Múltiplas Camadas

As técnicas tradicionais de codificação de vídeo são usadas para codificar fluxos de vídeo várias vezes para gerar vídeos codificados com diferentes taxas de bits, servindo a todos os receptores com uma variedade de largura de banda disponível. Estas técnicas de codificação não são práticas em VANETs dado que múltiplas codificações aumentam o atraso e sobrecarga na rede. Portanto, uma série de técnicas são introduzidas para proporcionar uma codificação mais eficiente. A escalabilidade corresponde a capacidade de extrair do *bitstream* completo do vídeo, conjuntos eficientes de bits que são decodificados oferecendo imagens ou vídeos com uma variação (escala) segundo uma dada característica da imagem ou vídeo. O número de conjuntos que podem ser extraídos do *bitstream* completo definem a granularidade da escalabilidade fornecida, que pode ser muito fina ou de granularidade grossa. A Codificação em Camadas e por Multi-Descrição (MDC) são duas formas existentes de codificação de vídeo escalável e são explicadas em detalhes abaixo.

- **Codificação em camadas:** Nesta abordagem, o vídeo é codificado em uma camada de base e uma ou mais camadas de reforço. Depois de decodificar a camada de base, uma qualidade de vídeo básica é alcançada. A fim de melhorar ainda mais a qualidade, a decodificação das camadas de reforço se faz necessária. A proteção da camada de base e a recuperação do número máximo de camadas de reforço é um grande desafio para a distribuição do vídeo em camadas [Pavlidis 2017]. Este desafio é mitigado através da transmissão de toda a camada de base pela melhor rota, além de reservar a quantidade ideal de recursos de rede para entregar a camada de base. Esta técnica garante a entrega de vídeo, mesmo com um mínimo de qualidade (por exemplo, QCIF). O *Scalable Video Coding (SVC)* é o exemplo mais conhecido de codificação em camadas. Em [Hu et al. 2015], os autores usam o SVC como uma solução para os altos níveis de perda de pacotes em VANETs. Esta abordagem utiliza múltiplos caminhos em conjunto com um protocolo baseado em emissor, onde, em cada rota é transmitido uma camada do vídeo, até que todas as camadas são decodificadas no veículo de destino.
- **Codificação por Multi-descrição:** A principal diferença entre MDC e codificação por camadas é a dependência entre camadas. Na decodificação por camadas, cada camada é dependente da camada anterior com forte dependência entre as camadas de reforço e a camada de base. Por outro lado, o MDC é uma forma de codificação de vídeo escalável, onde o objetivo principal é a criação de várias camadas independentes, conhecidas como descrições [Quadros et al. 2014]. Dependendo da abordagem, as descrições MDC podem ter a mesma ou diferentes importâncias. A degradação de qualquer uma destas descrições podem afetar negativamente a qualidade de vídeo decodificado [Ghahremani and Ghanbari 2016]. Qadri, em [Qadri et al. 2009], usa o MDC para troca de dados de vídeo *Peer to Peer (P2P)* sobre VANETs para tirar proveito da diversidade de rotas inerente às VANETs. Em [Quadros et al. 2014], os autores propõem um mecanismo alocado a um protocolo de roteamento baseado em emissor que une a característica de múltiplas rotas de VANETs, com MDC e um mecanismo de tomada de decisão baseado em múltiplos critérios, nomeadamente *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*. Este trabalho discute como múltiplos fluxos de vídeo podem ser alocados em diferentes rotas de maneira a se equilibrar a carga em nodos (mais atrativos) indo no mesmo sentido. Apesar de ser um trabalho originado durante o período de doutorado do autor desta tese, não será discutido novamente, pelo fato desta tese estar focada, nos próximos capítulos, somente em abordagens baseadas em receptor.

3.3.1.1 Técnicas de Correção de Erros

Os processos de codificação realizados em vídeos que não utilizam esquemas escalonáveis e em camadas, criam *streams* de vídeo que são extremamente sensíveis à degradação de pacotes. Um pequeno erro em um bloco de dados de vídeo comprimido pode ter um enorme impacto sobre a qualidade final do vídeo recebido. A retransmissão redundante de pacotes para compensar a perda é uma forma de proporcionar recuperação de erros na camada de aplicação, mas nem sempre é uma solução adequada. Portanto, manter alguma redundância em fluxos de vídeo pode reduzir a inter-dependência entre os blocos de vídeo [Immich et al. 2015]. Redundância de Pacotes, MDC, Codificação por apagamento e Codificação em Rede (do Inglês, *Network Coding* - NC) são técnicas de correção de erros que são explicadas de forma sucinta abaixo.

- **Redundância de pacotes:** Um protocolo deve garantir que os dados transmitidos pelo emissor será entregue para os destinatários pretendidos. A retransmissão de pacotes de dados é uma maneira tradicional de recuperação de pacotes perdidos na rede. Para uma transmissão *unicast* é mais fácil utilizar esta técnica, mas para transmissões em *broadcast* não é tão simples, além de *broadcast storms* que podem facilmente surgir. Ademais, a redundância de pacotes também pode afetar a desempenho do protocolo, fornecendo pacotes duplicados nos veículos receptores.
- **MDC:** Esta técnica de codificação de vídeo escalável fornece uma certa redundância entre as diferentes descrições codificadas, o que lhe proporciona a capacidade de lidar com erros de transmissão.
- **Codificação por apagamento (do Inglês, *Erasure Coding*):** Esta técnica fornece redundância em fluxos de vídeo sem um grande impacto na sobrecarga total na rede. Com o objetivo de distribuir conteúdo de vídeo usando esta técnica, o fluxo de vídeo deve, inicialmente, ser dividido em n blocos, que são então codificados para gerar um conjunto maior de m blocos. Uma codificação por apagamento ótima recupera o vídeo original, recebendo pelo menos n blocos, assegurando que pelo menos um dos n blocos originais, inicialmente divididos, é incluído [Rezende et al. 2015a]. O *Reed-Solomon* [Rosário et al. 2014] é um dos algoritmos de codificação por apagamento mais conhecidos utilizado para codificar e decodificar os blocos de vídeo. Em [Mammeri et al. 2016], Mammeri usa codificação por apagamento para a distribuição de conteúdo de vídeo sobre VANETs. Em seu modelo, RSUs transmitem pacotes codificados e as informações são transportadas por veículos (seguindo o paradigma carry-and-forward), quando eles não estão ao alcance de qualquer RSU.

A desvantagem clara com esta abordagem é que o uso da mobilidade dos veículos aumenta excessivamente o atraso fim-a-fim experimentado pelos usuários.

- **Codificação em Rede (do Inglês, Network Coding):** A idéia de codificação em rede mostra que a combinação de pacotes de vídeo através de uma função linear é uma solução para economizar em largura de banda e melhorar a vazão da rede. Tradicionalmente, nodos fonte enviam simples pacotes de vídeo, enquanto os nodos intermediários replicam e retransmitem os pacotes originais recebidos. Nesta abordagem, se um nodo recebe mais de um pacote (por exemplo, pacote A e B), pode codificar os mesmos usando uma função linear f e transmitir um pacote $f(A, B)$ com um tamanho igual ao tamanho dos pacotes originais [Hudson 2016]. Para alcançar melhores resultados, a função linear pode ser projetada de forma aleatória para gerar novos pacotes por diferentes combinações de pacotes em buffer. Chou, em [Chou et al. 2003], melhorou o conceito de codificação em rede, propondo uma solução prática para redes sem fio com falhas de conexão, nodos com capacidade variável, perda de pacotes e atraso, onde a capacidade de transmissão real é desconhecida. Chou introduziu um modelo de bufferização e um formato de pacote que elimina a necessidade de qualquer conhecimento da topologia ou funções de codificação e decodificação. Em seu trabalho, Hudson foca na codificação em rede e estuda o impacto da mesma na qualidade de vídeo recebida, onde os pacotes de vídeo são transmitidos através de VANETs. Nesta técnica, os dados de vídeo podem ser codificados apenas no nodo de origem, enquanto os nodos intermédios simplesmente encaminham os pacotes codificados. Além disso, algumas abordagens propostas, como em [Yang et al. 2010] aplicam a codificação em rede em ambos os nodos, os de origem e intermediários, onde os nodos intermediários re-codificam os pacotes recuperados, em seguida, encaminham estes pacotes para todos os veículos em sua faixa de transmissão. Em [Hudson 2016], o autor sugere o uso de codificação em rede forçando os nodos de retransmissão a esperarem a recepção de blocos decodificáveis inteiros para que os mesmos possam retransmitir os pacotes recém-codificados (com um novo conjunto de coeficientes aleatórios) e desta forma melhorar o consumo de largura de banda, onde pacotes diferentes são enviados por nodos diferentes. No entanto, esta abordagem incorre em atrasos proibitivos após alguns saltos de comunicação. Yang, em [Yang et al. 2010], propôs o uso de cooperação entre nodos vizinhos de forma que nodos de encaminhamento podem detectar outros nodos que não receberam pacotes suficientes para decodificar blocos. Quando isso acontece, os nodos de encaminhamento codificam novos pacotes dos mesmos blocos e os disseminam. A codificação por nodos intermediários é uma das vantagens de codificação

em rede, no entanto, o seu uso em *streaming* de vídeos leva a um atraso excessivo à medida que novos pacotes codificados só podem ser criados após os nodos de encaminhamento receberem pacotes suficientes para decodificar um bloco inteiro. Esta tese abstém a codificação de pacotes em nodos intermediários e limita esses nodos para apenas o envio dos pacotes codificados no nodo de origem.

- **Intercalação (do Inglês, Interleaving):** Na intercalação, uma melhor qualidade de vídeo, do ponto de vista do usuário, pode ser conseguida através do espalhamento das perdas de pacotes que geralmente ocorrem em rajada em um fluxo de vídeo, ou seja, a ideia é que pequenas lacunas de pacotes degradam menos a qualidade do que uma grande lacuna de pacotes em um fluxo multimídia. Após o processo de codificação, o vídeo codificado é intercalado entre GoPs, criando um fluxo entrelaçado. Assim, o esquema de intercalação melhora os níveis de QoE de fluxos de vídeo em tempo real através da fusão da sequência de quadros de vídeo original no lado do receptor, sem aumentar a redundância de pacotes, reduzindo assim, *broadcast storms*. A Intercalação baseia-se no método *Frame-copy* de ocultação de erros, em que o último quadro bem recebido substitui quadros perdidos. Como um exemplo, a Figura 3.1 mostra a técnica de Intercalação para dois ($d_{int} = 2$) GoPs consecutivos ($|g| = 9$) (*i*). Após a perda de três quadros consecutivos (quarto, quinto e sexto) do primeiro GoP intercalado durante o *broadcast* (*ii*), a intercalação quebra a lacuna de quadros perdidos em pequenas lacunas (*iii*). Através do método *Frame-Copy*, os GoPs reconstruídos em receptores são recuperados mediante a repetição do último quadro bem recebido (*iv*). Caso não houvesse a Intercalação de quadros, em caso de perda dos quarto, quinto, e sexto quadros em *i*), o intervalo de quadros perdidos seria apenas um, mas com um tamanho muito maior, uma vez que o primeiro quadro P (quarto quadro) é necessário para a reconstrução dos quadros restantes no GoP. Assim, esta divisão de rajadas de perdas em pequenas lacunas se torna menos perceptível a partir do ponto de vista do usuário.

3.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo investiga as técnicas propostas recentemente para *streaming* de vídeo em VANETs. Segue uma leitura/abordagem *bottom-up*, onde elenca-se as principais propostas dentro de cada camada da pilha de protocolos visando a transmissão de fluxos de vídeo dentro de VANETs. A tabela 3.1 sintetiza e apresenta uma comparação qualitativa entre as abordagens apresentadas neste capítulo. As técnicas de controle de erros

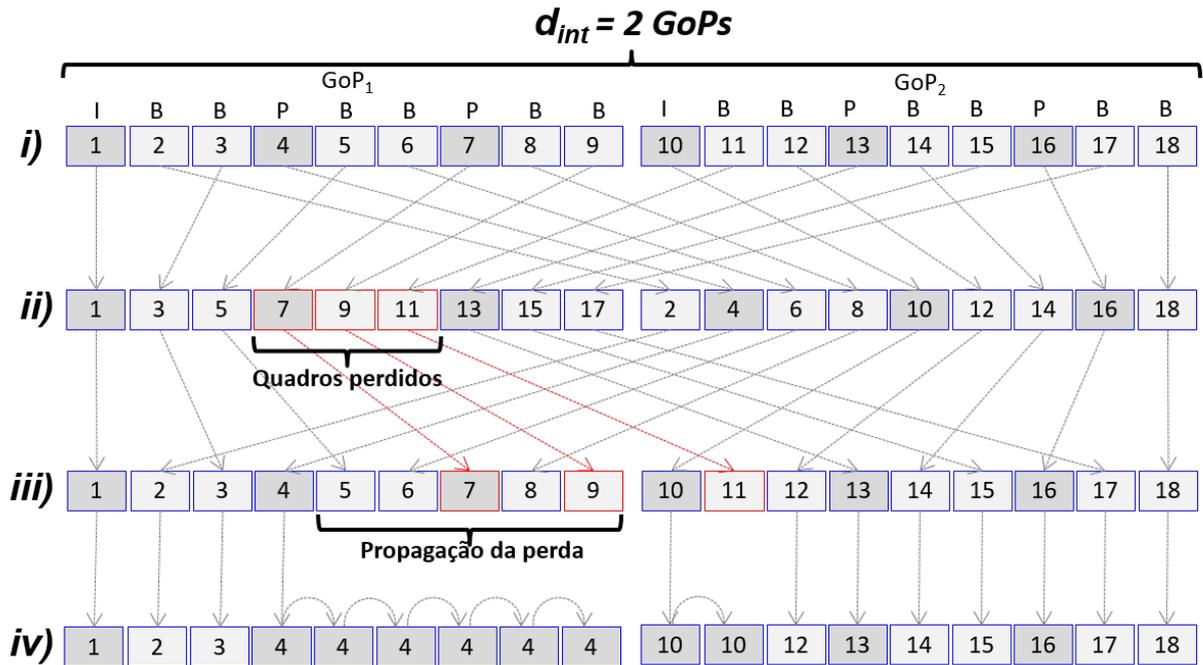


Figura 3.1: Técnica de Intercalação.

da Camada de Aplicação podem melhorar ainda mais as vantagens dos SRPs devido à sua adequação para transmissões de vídeo em ambientes sem fio e a natureza de correção de erros inerente da Camada de Aplicação [Rezende et al. 2015a, Li et al. 2014]. Esquemas, tais como MDC, Redundância de pacotes ou Codificação de Rede, impulsionam a disseminação de dados multimídia mesmo na presença de topologias dinâmicas, dado que elas empregam informação da Camada de Aplicação (características e requisitos de vídeo) para minimizar os efeitos de perdas de pacotes e alcançar uma melhor distribuição de vídeo [Rosário et al. 2014, Immich et al. 2015]. O problema com algumas dessas abordagens é que as mesmas dependem de informação redundante ou retransmissão de pacotes, o que requer largura de banda adicional e causa ainda mais perdas de pacotes no caso de uma conexão limitada. Apesar disso, o esquema de Intercalação melhora os níveis de QoE de fluxos de vídeo em tempo real através da fusão de quadros da sequência original de vídeo sem aumentar a redundância de pacotes, assim, reduzindo *broadcast storms* [Claypool and Zhu 2003]. Portanto, um SRP acoplado com um mecanismo dirigido à QoE e uma apropriada técnica de correção de erros da Camada de aplicação (Intercalação) em uma abordagem unificada, assegura a disseminação de sequências de vídeo em tempo real com melhor QoE em topologias dinâmicas. A partir da análise das técnicas de correção de erros acima mencionadas, neste trabalho optou-se pela técnica de Intercalação de quadros dado que há menor sobrecarga de pacotes comparada às técnicas de Redundância de pacotes ou Codificação de Rede.

Tabela 3.1: Comparação qualitativa.

Pilha de protocolos	Categoria	Técnica / Abordagem	Taxa de Entrega	Latência	Sobrecarga
<i>Camada de Enlace</i>	Controle de Congestionamento da Rede	Taxa de Quadros Adaptativa	Médio	Médio	Baixo
		Controle do Tempo de Backoff e Janela de Contenção	Médio	Médio	Baixo
	QoS		Adaptativo	Adaptativo	Médio
	Seleção de Nodos Encaminhadores		Médio	Alto	Baixo
<i>Camada de Rede</i>	Orientado à topologia	Orientada à Intersecção	Alto	Baixo	Baixo
		Orientada à Densidade	Médio	Baixo	Baixo
		Orientada à Similaridade de Movimentos	Médio	Médio	Médio
	Seleção de nodos	Baseado em Emissor	Baixo	Médio	Alta
		Baseado em Receptor (SRPs)	Alto	Baixa	Baixa
<i>Camada de Aplicação</i>	Múltiplas Camadas de Vídeo	Codificação em Camadas	Médio	Médio	Médio
		Codificação por Multi-descrição	Alto	Médio	Alto
	Correção de Erros	Codificação por apagamento	Médio	Baixo	Alto
		Codificação em Rede	Alto	Médio	Médio
		Intercalação	Médio	Baixo	Baixo

Capítulo 4

Mecanismo para *Broadcast* baseado em Receptor dirigido a QoE (BRQ)

Este capítulo apresenta o mecanismo para *Broadcast* baseado em Receptor dirigido a QoE (BRQ) para melhorar a disseminação de *streaming* de vídeos via múltiplos saltos em cenários de VANETs contendo comunicação V2V e V2I (LTE-VANET). Este mecanismo considera a abordagem baseada em receptor, onde não são necessárias trocas de informações entre nodos vizinhos. O BRQ trabalha em conjunto com SRPs, o qual visa selecionar nodos de encaminhamento evitando sobrecarga desnecessária e mensagens duplicadas, ou seja, reduzindo o problema de congestionamento em transmissões. O mecanismo BRQ permite a disseminação de vídeo com elevada alcançabilidade e qualidade, ou seja, os nodos irão abranger o máximo número de nodos destinos possíveis (interessados no recebimento dos vídeos) dentro de uma determinada área física, mantendo elevados níveis de QoE.

O mecanismo BRQ permite melhorias na qualidade de vídeo percebida pelos usuários através de parâmetros relacionados com QoE e vídeo para o processo de seleção de nodos de encaminhamento e manutenção do *backbone*. Transmissões de *streaming* de vídeo com altos níveis de QoE e baixo impacto na rede são assegurados pelo mecanismo proposto mesmo com a presença de mudanças na topologia da rede veicular. Conforme detalhado na Subsecção 4.1.3.4, para este trabalho, o BRQ foi adicionado a um protocolo de roteamento simples baseado em distância, chamando-se assim DBRQ. No entanto, dependendo do SRP, outros parâmetros diferentes, em adição à distância, como qualidade do sinal recebido, densidade de veículos, velocidade e sentido dos veículos, podem ser facilmente incorporados com o objetivo de um processo de decisão mais robusto.

4.1 ETAPAS DO BRQ

O mecanismo BRQ opera em duas etapas, 1 - Encaminhamento Baseado em Contenção (EBC) e 2 - Encaminhamento Livre de Contenção (ELC). Na etapa 1 (EBC), o nodo de origem captura um vídeo e começa a disseminação do mesmo, ao passo que, os veículos candidatos à nodos de retransmissão competem entre si para auto-selecionarem quais nodos irão participar da etapa 2 (ELC). Para o cenário de LTE-VANET, a etapa ELC emprega encaminhamento dos fluxos de vídeo via V2V e gerência das rotas construídas via V2I. Assim, em ambos os cenários, os nodos escolhidos encaminham as sequências de vídeo para os seus vizinhos, de acordo com parâmetros de posicionamento e relacionados à vídeo. Na etapa ELC, é realizado encaminhamento livre de contenção do *streaming* de vídeo, explorando os caminhos (via múltiplos saltos) construídos anteriormente na etapa EBC, e permitindo dinamicamente mudanças para outros caminhos (utilizando outros nodos de encaminhamento alternativos) em caso de falhas de conexão e perda de qualidade de vídeo. Nas subseções seguintes são detalhadas cada etapa do BRQ.

4.1.1 Modelagem do Sistema

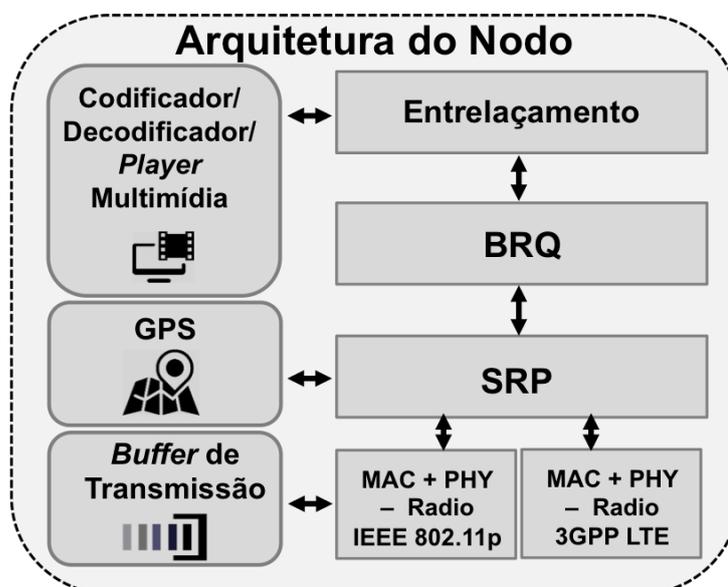


Figura 4.1: Arquitetura simplificada de um nodo contendo Entrelaçamento, BRQ, e o SRP baseado em Distância.

Para o modelo de rede desta tese, supôs-se um cenário de disseminação de vídeo em tempo real. O caso de uso é um acidente ou desastre, onde os veículos e equipes de

primeiros socorros vindo em direção a área de colisão devem receber o vídeo do acidente. Assim, considera-se k veículos, atribuindo-se a cada um, um identificador ($i \in [1, k]$), os quais trafegam sobre um cenário de cidade (grade) ou de autoestrada com múltiplas faixas. A combinação desses nodos representa-se por um grafo formado pela topologia veicular $G(V, E)$, onde os vértices $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ representam um subconjunto finito de k nodos e as arestas $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ correspondem a um conjunto finito de *links* sem fio assimétricos entre os vértices. É denotado um subconjunto $N(v_i) \subset V$ como todos os vizinhos de um salto dentro do raio de alcance de um dado nodo v_i . A Figura 4.1 apresenta a arquitetura simplificada de um nodo. Nesta figura, é possível notar alguns componentes-chave, como o Entrelaçamento (Subseção 4.1.2), BRQ (Subseção 4.1.3 e 4.1.4) e o SRP baseado em Distância 4.1.3.4, assim como os outros componentes interdependentes de um nodo. Assume-se que cada nodo v_i possui uma interface de rede IEEE 802.11p, através da qual pode se comunicar com $N(v_i)$, além de uma interface 3GPP LTE que permite que os permitam ser gerenciados diretamente por um servidor de tráfego ou por eNBs (nos casos em que as eNBs permitem implementações abertamente). Cada nodo possui também um GPS (para localização e sincronismo), um codificador e decodificador multimídia, e um *buffer* de armazenamento com uma dada capacidade máxima.

Como mencionado no Capítulo 3 - Seção 3.3, antes da transmissão, sequências de vídeo são comprimidas pelo padrão MPEG em GoPs compostos por três tipos de quadros, ou seja, quadros I, P e B. Os quadros sucessivos entre dois quadros I definem um GOP, de modo que não existe um valor fixo padrão para o comprimento deste, mas o mínimo e máximo típico de vídeos MPEG-4, situam-se entre 10 e 20 quadros. Quadros I são auto-contidos, no entanto, para codificar e decodificar quadros P e B, o quadro I anterior e/ou quadros P do mesmo GOP são necessários. A taxa de compressão de quadros P é maior do que a taxa de quadros I, e a taxa de compressão de quadros B é a mais alta de todos os três. Assim, se um quadro I ou P for perdido, todos os quadros restantes do GoP se tornam indecodificáveis, ou seja, o mesmo grau de perda de pacotes pode causar degradação grave da qualidade de vídeo ou pode passar despercebido, dependendo de quais tipos de quadros são afetados. A Figura 4.2 mostra os diferentes graus de importância para a percepção do utilizador em cada tipo de quadro para um GOP com tamanho 18. O comprimento de uma explosão de perda determina quantos quadros são afetados em um GOP, ou seja, o número de quadros seguintes, em que este efeito se propaga. Desta forma, percebe-se que quadros I seguidos de quadros P são os mais importantes do ponto de vista humano, já que para um único quadro I ou P perdido, há propagação de erros através de quadros até ao final do GOP. No entanto, para um único quadro B perdido, nenhum (ou pouquíssimo) impacto é notado visualmente, uma vez que não há outros quadros afetados. A estrutura

do CODEC MPEG-4 é utilizada neste trabalho pelo fato dos vídeos que são codificados utilizando este padrão serem, atualmente, os mais largamente usados na Internet para aplicações de *streaming* de vídeo. No entanto, em função da estrutura hierárquica dos CODECs atuais, é possível adaptar o seu uso dentro dos veículos através da simples modificação do módulo de codificador/decodificador multimídia.

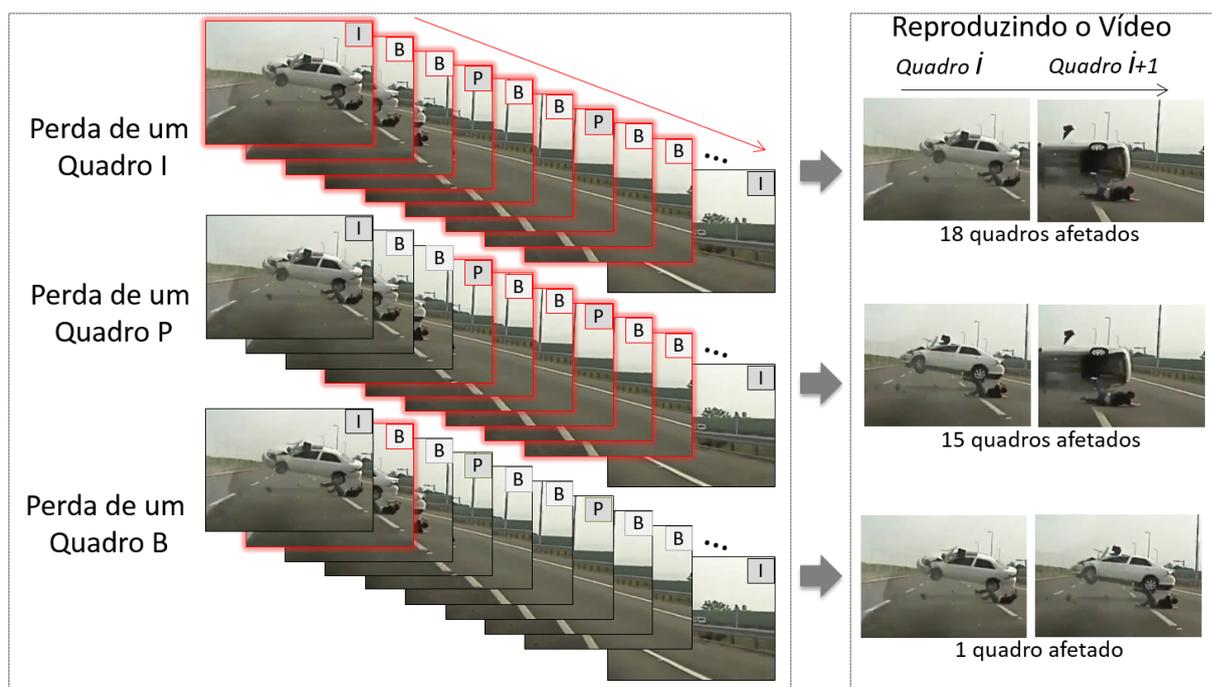


Figura 4.2: A diferente prioridade dos quadros MPEG.

Um fluxo de vídeo (*Video Flow*) ($VF = g_1, g_2, \dots, g_n$) é representado como um conjunto de n GoPs g . Cada quadro em um g é composto de fatias (s), que por sua vez são divididas em um ou mais pacotes de vídeo (p), dependendo de cada tamanho de quadro. Cada p contém, além dos do conteúdo de vídeo, outros parâmetros de codificação, tais como uma *flag* indicando o tipo de quadro, número de sequência do quadro (Id), comprimento, hora de saída e a segmentação do pacote. Para obter essas informações, um algoritmo chamado *Deep Packet Inspection* (DPI) permite a extração do tipo de quadro e informações de dependência *intra-frame* em cada p [Sherry et al. 2015], uma vez que cada VF começa com um cabeçalho de sequência seguido por um cabeçalho de GoP, e, em seguida, por um ou mais quadros codificados. O método DPI têm sido utilizado em vários trabalhos para coletar informações sobre pacotes maliciosos, tipos de quadro e dependência *intra-frame*, que são descritos na sequência de vídeo e cabeçalhos GoP [Aguilar et al. 2014]. Assim, o DPI é uma boa alternativa para permitir soluções de rede multimídia *cross-layer*, melhorando a utilização de recursos de rede e visando melhor percepção do usuário.

4.1.2 Aplicação da Técnica Intercalação no BRQ

Com o objetivo de uma disseminação de vídeo em tempo real ainda melhor, é empregado, neste trabalho, a Intercalação de quadros como técnica de correção de erros na camada de aplicação para lidar com perdas. O BRQ possui um projeto modular e está posicionado entre a camada de aplicação e de rede, desta forma, age independentemente da técnica de Intercalação e pode ser facilmente integrado a outras técnicas de correção de erros, que são geralmente realizadas antes da fase de transmissão (EBC). A intercalação foi escolhida devido a sua aplicabilidade para a comunicação de vídeo, a natureza de codificação de erros da camada de aplicação e sua baixa sobrecarga, essencial em ambientes de *broadcast*.

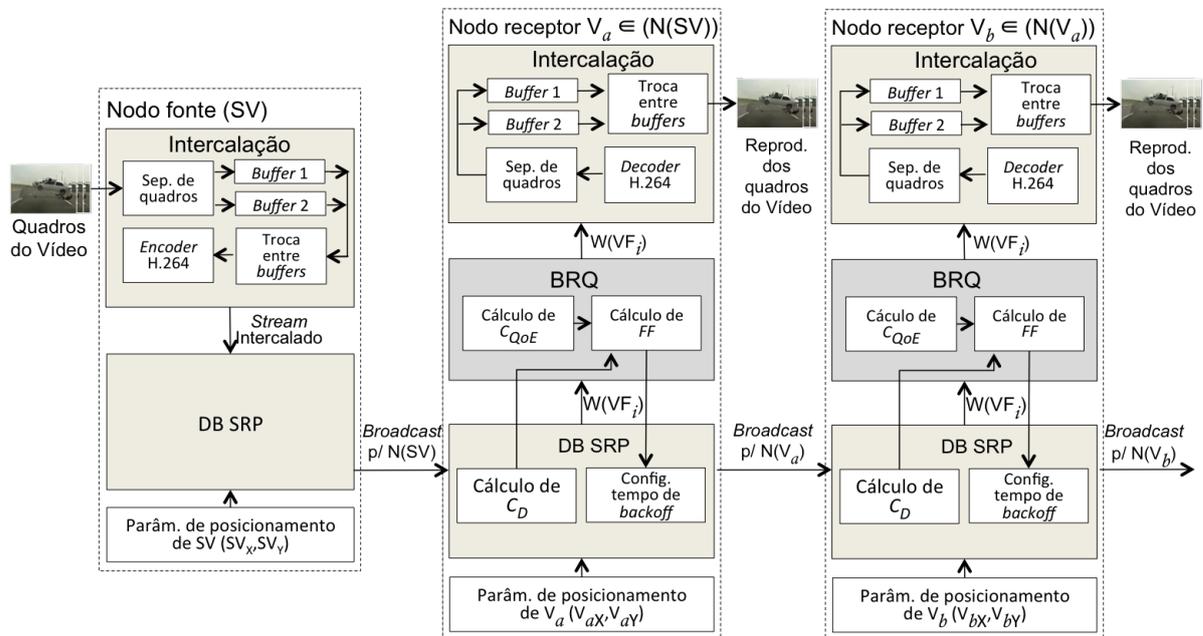


Figura 4.3: Arquitetura detalhada do sistema com a Intercalação, BRQ e o SRP.

Como apresentado no Capítulo 3 - Seção 3.3, na técnica de Intercalação, uma melhor qualidade de vídeo, a partir da perspectiva do usuário, pode ser alcançada espalhando-se as rajadas de perdas de pacotes de um fluxo de mídia, ou seja, pequenas lacunas degradam a qualidade menos do que uma grande lacuna em um fluxo de vídeo. Supondo uma Distância de Intercalação (d_{int}), dada pelo algoritmo de intercalação, a Figura 4.3 ilustra a arquitetura detalhada do sistema combinando a técnica de Intercalação, o SRP, e o mecanismo BRQ. Sempre que um nodo fonte (SV) tem um VF para enviar, ele primeiro intercala $(d_{int}) \times |g|$ quadros consecutivos, ou seja, (d_{int}) representa o número de GoPs intercalados. Após isso, o SV escreve as suas próprias coordenadas geográficas atuais no cabeçalho dos pacotes, que contêm $\langle SV_{Id}, SV_{x,y}, p_{conteudo} \rangle$, e ativa a etapa EBC (para

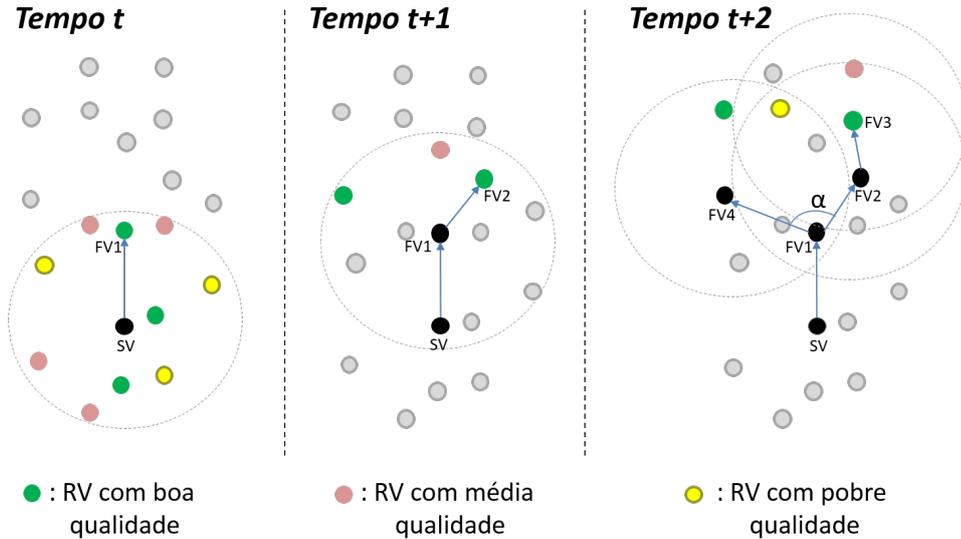


Figura 4.4: Processo de encaminhamento do BRQ.

o *broadcast* de pacotes de vídeo para todos os seus vizinhos ($N(SV)$). Após as transmissões, ao atingir os receptores (por exemplo, V_a na Figura 4.3), os quadros intercalados são então reconstruídos na sua ordem original e reproduzidos. Se perdas consecutivas ocorrem no fluxo intercalado durante a transmissão, grandes lacunas são espalhadas em várias lacunas pequenas [Li et al. 2014]. O processo é então repetido de modo que outros veículos em torno da área do acidente recebem o vídeo.

4.1.3 Etapa 1 - Encaminhamento Baseado em Contenção (EBC)

4.1.3.1 Cenário envolvendo comunicação V2V

Na etapa EBC dentro do cenário V2V, um SV inicia a disseminação de um VF através de uma fase de contenção distribuída e os nodos candidatos (RVs - *Relay Vehicle candidates*) competem entre si para escolher quais nodos irão participar na etapa 2 (ELC) e se tornarão nodos de Encaminhamento (FVs - *Forwarding Nodes*). Usando parâmetros relacionados com vídeo, e QoE, BRQ define os melhores RVs em cada salto (Figura 4.4, $FV1$ no tempo t , $FV2$ no tempo $t+1$ e $FV3$ e $FV4$ no tempo $t+2$). Uma vez que o SV começa a capturar um determinado VF_i , ele começa a disseminação em múltiplos saltos, ou seja, o SV faz o *broadcast* de pacotes de vídeo ($p \in VF_i$) dentro de uma janela de tempo ($W(VF_i) \subset VF_i$), para $N(SV)$. O Algoritmo 1 apresenta o processo genérico da etapa EBC.

Os RVs possuem informação do número total de saltos atravessados N_{Hops} de um

Algoritmo 1 Etapa EBC nos veículos (*RVs*) para o cenário V2V

Quando um dado nodo $v_b \in N(v_a)$ recebe pacotes disseminados ($W(VF_i) = \sum_{k=1}^n p_k$) a partir de um nodo v_a :

```

1: if  $N_{Hops}(W(VF_i)) < N_{HopsT}$  then
2:   if  $\exists! p_k \in W(VF_i)$  and  $p_k \in TB_{v_b}$  then
3:     Drop  $W(VF_i)$  from  $TB_{v_b}$ 
4:   return
5: else
6:   Compute  $FF(v_b)$  (Eq. (4.6))
7:   if  $FF < FF_t$  then
8:     Drop  $W(VF_i)$  from  $TB_{v_b}$ 
9:   return
10:  else
11:    Start  $BackoffTimer(v_b)$  (Eq. (4.1))
12:    while  $BackoffTimer(v_b) \neq 0$  do
13:      if Overhear  $!p_k \in W(VF_i)$  then
14:        if  $\angle FV_{av_b} < \phi$  then
15:          Cancel  $BackoffTimer(v_b)$ 
16:          Drop  $W(VF_i)$  from  $TB_{v_b}$  and Cancel any new rebroadcast of  $p_k \in W(VF_i)$ 
17:        return
18:      end if
19:    end if
20:    end while
21:  end if
22:  Rebroadcasts  $W(VF_i)$  and  $v_b \leftarrow FV$ 
23: end if
24: else
25:   Drop  $W(VF_i)$ 
26: return
27: end if

```

$W(VF_i)$, ou seja, para um $W(VF_i)$ excedendo um predeterminado limiar N_{HopsT} , não ocorrerão novas retransmissões (Linha 1 do Algoritmo 1). O N_{HopsT} se torna importante, dado que este limita a área de *broadcast* (*Warning Zone* - WZ). Foi definido $N_{HopsT} = 10$, já que, para um raio de cobertura de 250 m em cada salto, obtém-se uma média-longa distância de 2.5 km aproximadamente, como requerido em muitos cenários de resgate ou desastres de redes veiculares [De Felice et al. 2015].

Se a janela $W(VF_i)$ contém somente pacotes que ainda não foram recebidos (Linha 2 do Algoritmo 1), os *RVs* aplicam uma *Fit Function* (FF) (Equação (4.6)) e comparam o valor calculado com um valor de limiar (FF_t) antes de encaminhar os pacotes (Linha 7 do Algoritmo 1). No caso de um FF menor do que FF_t , o *RV* (no exemplo, v_b) descarta $W(VF_i)$ do TB_{V_b} , em outras palavras, v_b não é então considerado um bom nodo candidato para reencaminhar os dados. O uso de FF permite que a rede reduza o número de retransmissões e pacotes duplicados através da escolha dos melhores *RVs*. O valor do FF $[0, FF_{max}]$ depende de parâmetros do protocolo de roteamento (SRP) utilizado, tais como posicionamento (Subseção 4.1.3.4), e parâmetros relacionados a QoE, como mostrado na Subseção 4.1.3.3. Assim, depois de calcular o FF , v_b substitui a localização do v_a pela sua própria localização no cabeçalho dos pacotes, configura um temporizador (*BackoffTimer*) de acordo com a Equação (4.1) e a partir do momento em que o temporizador termina, retransmite os pacotes armazenados ($W(VF_i)$). Através da análise da Equação (4.1), fica claro que os nodos com maiores valores de FF são mapeados para menores valores de *BackoffTimers*, e assim, adquirem maior prioridade para vencer na etapa EBC.

$$BackoffTimer = CW_{Max} - FF \cdot (CW_{Max} - CW_{Min}) \quad (4.1)$$

Onde CW $[CW_{Min}, CW_{Max}]$ é o tamanho da Janela de contenção (*Contention Window*) no padrão IEEE 802.11p. De uma maneira completamente distribuída, o nodo que gera o menor *BackoffTimer* retransmite $W(VF_i)$ primeiro e é selecionado como nodo encaminhador (*FV*) (Linha 22 do Algoritmo 1). Além disso, como esperado no padrão IEEE 802.11p, os *RVs* são capazes de sentir o canal durante o período do *BackoffTimer*. Desta forma, no caso de perceber transmissões de qualquer $p \in W(VF_i)$ a partir de outro *FV*, o $v_b \in N(FV)$ compara o ângulo entre sua própria localização, *FV*, e o nodo anterior que está enviando (v_a) em relação a um ângulo de limiar $\phi = 45^\circ$ que é diretamente relacionado a alcançabilidade do SRP (Linhas 13 e 14 do Algoritmo 1). Se o ângulo entre o *FV* selecionado anteriormente *FV* e v_b for maior do que ϕ , V_b então procede a retransmissão de $W(VF_i)$ (tempo $t+2$ na Figura 4.4), caso contrário, o mesmo não realiza a retransmissão. Com este processo, os pacotes recebidos podem ser disseminados para

outras direções via múltiplos FVs .

O mecanismo BRQ visa selecionar os nodos encaminhadores que possibilitem melhor qualidade de vídeo sob a perspectiva dos usuários. Deste modo, o BRQ usa um fixo $FF_t = 0.4$ [Slavik et al. 2015]. Como enfatizado na Subseção 4.1.3.4, para evitar pacotes duplicados na mesma área geográfica, o protocolo baseado em Distância estabelece que os nodos mais distantes (a partir do nodo anterior que está enviando) retransmita $W(VF_i)$. Assim, através de uma abordagem que usa Ack passivo (*passive acknowledgment*) [Rosário et al. 2014], v_a é também capaz de sentir a retransmissão de $W(VF_i)$ e, assim, concluir se os pacotes de vídeo foram recebidos com sucesso por outros nodos, permitindo que o BRQ reduza as mensagens de controle (*acknowledgments*) na camada MAC.

A Figura 4.5 mostra uma visão geral da etapa EBC. Suponha que $N(SV) = \{RV_1, RV_2, RV_3\}$, ou seja, os nodos RV_1 , RV_2 , e RV_3 são vizinhos de um salto de SV . Neste exemplo, o RV_2 encaminhou um dado $W(VF_i)$ primeiro (t_1 na Figura 4.5b) e os nodos vizinhos (RV_1 e RV_3) percebem esta transmissão (t_1 nas Figuras 4.5a e c). Como resultado, estes nodos checam se o ângulo entre eles, SV , e RV_1 são menores do que ϕ . O nodo vizinho que possui um ângulo superior a ϕ , procede para a retransmissão de $W(VF_i)$ (t_2 na Figura 4.5a), caso contrário, simplesmente descarta $W(VF_i)$ do seu *buffer* (TB) e permanece em silêncio (Linhas 15 e 16 do Algoritmo 1 e t_2 na Figura 4.5c).

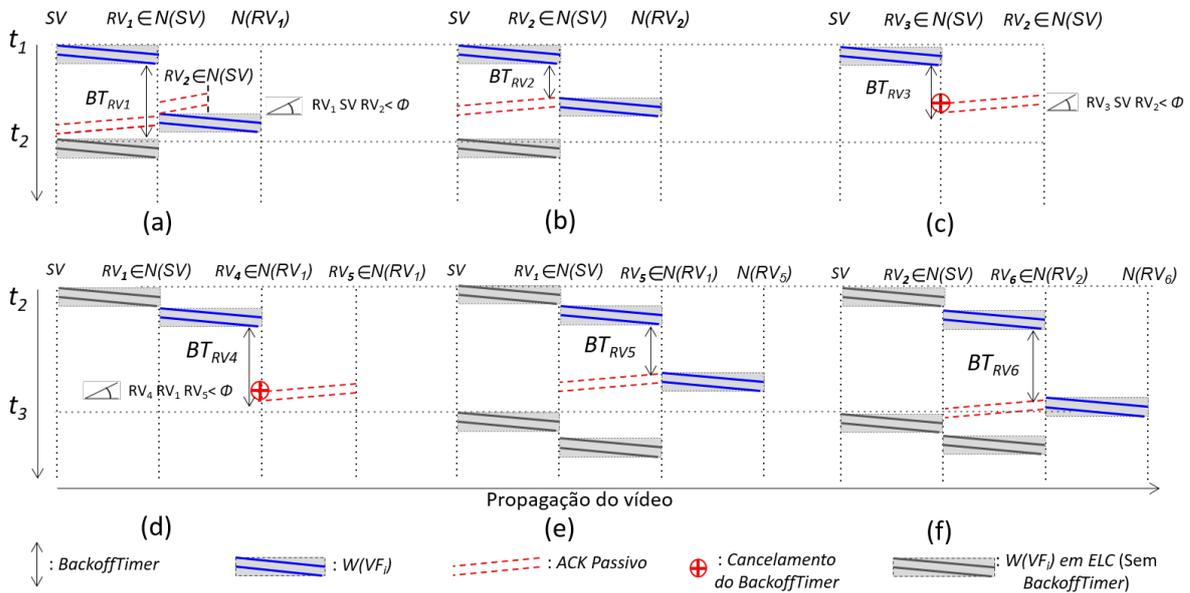


Figura 4.5: Etapa EBC para o primeiro salto (a-c) e para o segundo salto (d-f).

No tempo t_2 , para o segundo salto (Figuras 4.5d-f), suponha que $N(RV_1) = \{RV_4, RV_5\}$ e $N(RV_2) = \{RV_6\}$, ou seja, RV_4 e RV_5 são vizinhos de um salto de RV_1 ; e somente RV_6 é vizinho de um salto de RV_2 . Inicialmente, o nodo RV_5 vence a fase de

contenção com o menor *BackoffTimer* e encaminha o $W(VF_i)$ primeiro. O nodo RV_1 usa os pacotes transmitidos como *passive acknowledgements*. Assim, o segundo vizinho de RF_1 (RV_4 , ver na Figura 4.5d) percebe RV_5 transmitindo $W(VF_i)$, checa se o ângulo entre ele, RV_1 , e RV_5 é maior do que ϕ . Como o ângulo medido é menor do que ϕ , o nodo RV_4 cancela seu *BackoffTimer* e permanece em silêncio. Finalmente, em t_3 (Figuras 4.5e e f), o *SV* envia os pacotes subsequentes para RV_5 e RV_6 por RV_1 e RV_2 , respectivamente, sem requerer *BackoffTimers*, ou seja, muda-se para a etapa de Encaminhamento Livre de Contenção (ELC), detalhada na Subseção 4.1.4.

4.1.3.2 Cenário envolvendo comunicação V2I

O cenário V2I nesta tese é definido como uma rede heterogênea composta por uma rede puramente veicular sob a presença de uma rede LTE, também chamada de LTE-VANET. A Figura 4.6 apresenta um cenário LTE-VANET generalizado. Neste cenário, veículos trafegam numa autoestrada que possui eNBs, assim os mesmos podem utilizar-se da abrangência da comunicação V2I para impulsionar o gerenciamento da disseminação dos vídeos e permitir uma seleção mais aprofundada dos nodos de encaminhamento.

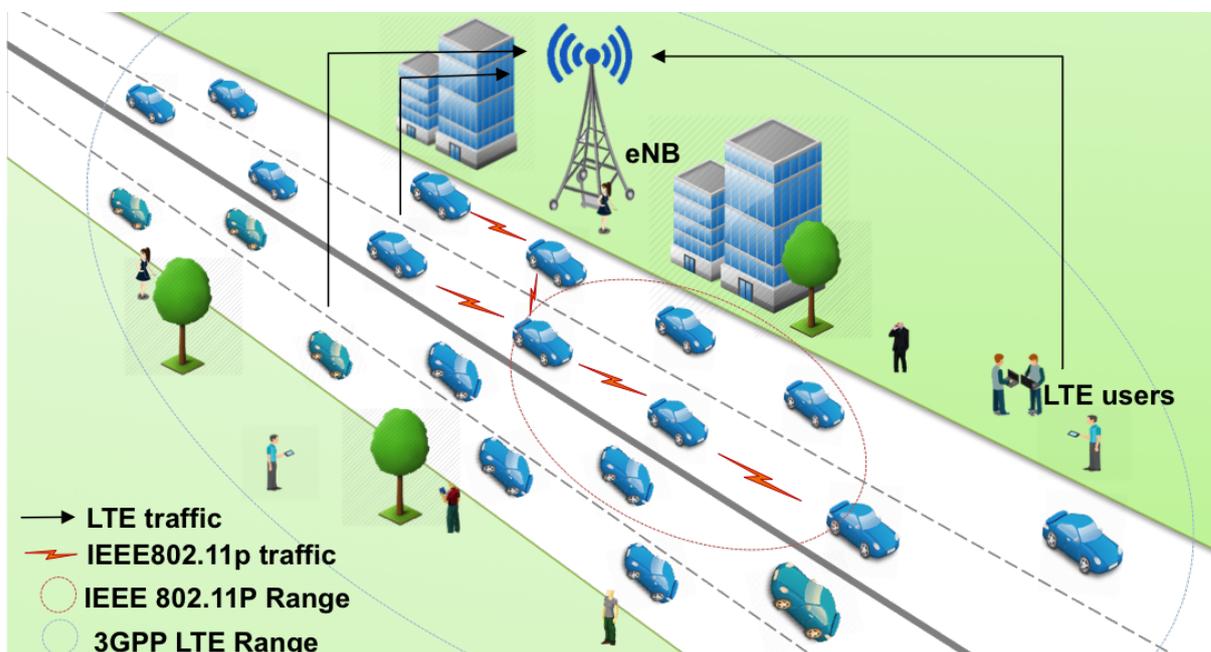


Figura 4.6: Cenário V2I para uma rede LTE-VANET.

Dentro de um cenário V2I, no começo da etapa EBC, o *SV*, através da sua interface LTE, avisa a eNB que irá iniciar uma disseminação de vídeo. Particularmente, o *SV* envia uma *Notification to Video Broadcast* (NVB) para o servidor de gerenciamento (do Inglês, *Management Server* - MS), o qual assume que *SV* é o nodo inicial. O *NVB*

contém a posição atual do SV e um identificador do vídeo $\langle SV_{pos}; SV_{Id} \rangle$. Os veículos periodicamente enviam FCDs para o MS no LTE, o qual contém informação sobre presença, posição ou estado dos veículos [Jia et al. 2014]. O MS seleciona os RV s que irão competir para retransmitir os pacotes de vídeo, baseado nos parâmetros de posição do SV e dos vizinhos, previamente coletados via FCD. O Algoritmo 2 apresenta a etapa EBC realizada no MS . Primeiramente, o MS obtém, a partir da sua tabela FCD, a posição atual e anterior do nodo que irá realizar o *broadcast* (v_a) e seus nodos vizinhos $N(v_a)$ (Linhas 1,2,4 e 5 do Algoritmo 2). Além disso, o MS estabelece uma WZ para limitar a área de disseminação, ou seja, para um vídeo excedendo um determinado WZ , não ocorrerá mais *broadcast* (Linha 3 do Algoritmo 2).

Para limitar a disseminação de vídeo apenas para veículos indo em direção à área de colisão, o MS compara o ângulo entre a posição atual e a posição anterior de v_a e posição atual de cada $v_k \in N(v_a)$ para um ângulo de limite $\lambda = 90^\circ$ (Linha 7 e 8 do Algoritmo 2). Se o ângulo for maior que λ , o MS realiza uma nova comparação. As condições mencionadas acima, permitem que o sistema mitigue o número de RV s e a sobrecarga de pacotes de vídeo, selecionando apenas veículos interessados em receber o vídeo. Assim, os veículos que já passaram pela área do acidente e os veículos que vão na direção oposta não precisam receber os vídeos. O ângulo λ pode ser modificado dependendo do cenário e ruas para prover maiores taxas de alcançabilidade do serviço de roteamento. Assim que o MS calcula os RV s escolhidos, ele envia uma *Authorization to Video Broadcast* (AVB) para os RV s e o SV . Desta forma, o SV inicia a transmissão de um VF para os seus veículos vizinhos via múltiplos saltos. Em outras palavras, o SV dissemina pacotes de vídeo p numa janela $W(VF_i) \subset VF_i$, para todos os seus vizinhos ($N(SV)$). Todos os nós que não foram escolhidos pelo MS para se tornar RV s, descartam $W(VF_i)$ na camada MAC e, portanto, não aumentam a sobrecarga da rede. Através de uma fase de contenção distribuída, os RV s competem entre si para escolher quais os nós se tornarão FN s. O Algoritmo 2 apresenta a etapa EBC nos RV s.

Se o v_b já tiver recebido um AVB_i do MS para encaminhar os pacotes de vídeo e se $W(VF_i)$ contém apenas novos pacotes recebidos (Linha 2 de Algoritmo 3), v_b envia um NVB_i para o MS e aplica a FF (Equação 4.6) (Linha 7 do Algoritmo 3). Da mesma forma como explicado no cenário envolvendo apenas comunicação V2V, depois de calcular a FF , o v_b define um *backofftimer* de acordo com a Eq. 4.1. Quando este *backofftimer* finaliza, v_b dissemina os pacotes armazenados no *buffer* ($W(VF_i)$). O RV que gera o menor *backofftimer*, dissemina $W(VF_i)$ primeiro e se torna um FV (Linha 18 do Algoritmo 3). Durante o período do *backofftimer*, os veículos “escutam” o canal, assim, no caso de perceber transmissões oriundas de outro FV , $v_b \in N(FN)$, compara

Algoritmo 2 Etapa EBC no *Management Server (MS)* para o cenário V2I

Quando um dado nodo v_a (com $|N(v_a)|$ vizinhos) envia um NVB_i

$k \leftarrow 0$

- 1: Retrieves $v_a(x_{t-1}, y_{t-1})$
- 2: Collects $v_a(x_t, y_t)$
- 3: **if** $\overline{v_aSV} < WZ$ **then** //Detectando se WZ é estabelecida
- 4: **while** $k < |N(v_a)|$ **do** // $\forall v_k \in N(v_a)$
- 5: Retrieves $v_k(x_{t-1}, y_{t-1})$
- 6: Collects $v_k(x_t, y_t)$
- 7: **if** $\angle v_a(x_t, y_t)v_a(x_{t-1}, y_{t-1})v_k(x_t, y_t) > \lambda$ **then**
- 8: **if** $\angle v_a(x_t, y_t)v_a(x_{t-1}, y_{t-1})v_k(x_{t-1}, y_{t-1}) \geq v_a(x_t, y_t)v_a(x_{t-1}, y_{t-1})v_k(x_t, y_t)$ **then**
- 9: $v_k \leftarrow RV$
- 10: Sends AVB_i to v_k
- 11: **end if**
- 12: **end if**
- 13: $k++$
- 14: **end while**
- 15: Sends AVB_i to v_a
- 16: **end if**

Algoritmo 3 Etapa EBC nos veículos (*RVs*) para o cenário V2I

Quando um dado nodo $v_b \in N(v_a)$ recebe pacotes disseminados ($W(VF_i) = \sum_{k=1}^n p_k$) de um nodo v_a :

- 1: **if** $v_b \supset AVB_i$ **then** // Detectando se v_b é um *RV*.
- 2: **if** $\exists! p_k \in W(VF_i)$ **and** $v_b \supset p_k$ **then** // Detectando pacotes redundantes.
- 3: Drop $W(VF_i)$ from v_b
- 4: **return**
- 5: **else**
- 6: Sends NVB_i to *MS*
- 7: Compute $FF(v_b)$ (Eq. (4.6))
- 8: Start *BackoffTimer*(v_b) (Eq. (4.1))
- 9: **while** *BackoffTimer*(v_b) $\neq 0$ **do**
- 10: **if** Overhear $! p_k \in W(VF_i)$ **then** // Detectando pacotes redundantes.
- 11: **if** $\angle FVv_a v_b < \phi$ **then** // Comparação entre o ângulo de *FV* e v_b .
- 12: Cancel *BackoffTimer*(v_b)
- 13: Drop $W(VF_i)$ from v_b **and** Cancel any new rebroadcast of $p_k \in W(VF_i)$
- 14: **return**
- 15: **end if**
- 16: **end if**
- 17: **end while**
- 18: Rebroadcasts $W(VF_i)$ **and** $v_b \leftarrow FV$
- 19: **end if**
- 20: **end if**

o ângulo entre sua própria localização, FV , e o nó emissor anterior (v_a), com relação ao ângulo de limiar ($\phi = 45^\circ$) (Linha 11 do Algoritmo 3). Quando o ângulo entre o FV selecionado anteriormente e v_B é maior do que ϕ , v_b procede a retransmissão de $W(VF_i)$, caso contrário, o mesmo não realiza a transmissão, fazendo com que os pacotes recebidos possam ser disseminados para outras direções via múltiplos FVs .

As próximas subseções descrevem como o BRQ usa ambos, parâmetros relacionados a vídeo e de posicionamento para computar a FF e, assim, escolher os melhores FVs . Os FVs selecionados retransmitem os fluxos de vídeo para os vizinhos até a WZ ser alcançada e participam da etapa ELC, onde rotas dinâmicas de disseminação são construídas (Subseção 4.1.4).

4.1.3.3 Parâmetros relacionados a QoE e Vídeo

Como visto na Seção 4.1.1, uma sequência de vídeo MPEG é composta de quadros com diferentes graus de importância dentro da perspectiva de qualidade observada por pessoas. Para um vídeo MPEG de 24 fps, se pacotes de um quadro I são perdidos, o vídeo será degradado em pelo menos 0.75 s. Além disso, a perda de pacotes de quadros P no começo de um GoP causa uma maior distorção do que a perda de quadros P no fim do GoP, como detalhado em [Immich et al. 2015]. No entanto, a perda de quadros B não impacta fortemente a percepção de usuários. Considerando a importância de cada quadro de vídeo, assim como a a posição do quadro P dentro do GoP, BRQ prioriza quadros com maior impacto na distorção média de um vídeo (σ_s^2) opostamente àqueles com menor impacto no QoE. Assim, o BRQ aloca pesos diferentes para fatias de pacotes (*slices*) (s) pertencentes a cada tipo de quadro, conforme modelado pela Equação (4.2):

$$\sigma_s^2 \propto \begin{cases} \frac{\alpha_1(R_M - R_I)}{R_M} & \text{se } s \in \text{quadro I} \\ \frac{\alpha_2}{(2^{T-1} - 1)R_M} \sum_{i=1}^{T-1} 2^{T-1-i}(R_M - R_{P_i}) & \text{se } s \in \text{quadro P} \\ \frac{\alpha_3(R_M - R_B)}{R_M} & \text{se } s \in \text{quadro B} \end{cases} \quad (4.2)$$

Onde $T-1$ é o número de quadros P por GoP, R_I , R_{P_i} , e R_B significam a taxa de quadros I, P (com posição i no GoP), e B recebidos em $W(VF_i)$, respectivamente. R_M é a taxa de dados máxima suportada pelo transceptor do rádio de cada veículo, por exemplo, para uma placa Wi-Fi DCMA-86P2 802.11p, $R_M = 6$ Mbps se $P_{rx} > -93$ dbm [Di Felice et al. 2013]. Os parâmetros α_1 , α_2 , e α_3 são fatores de peso, onde $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$.

O modelo de distorção proposto por Shu Tao [Tao et al. 2008] considera o impacto causado pela perda de fatias de quadros a partir de um *stream* de vídeo. Assim, para uma dada estrutura de quadro de vídeo e uma dada probabilidade de ocorrência de perda, a Equação (4.3) define um valor de distorção geral para o fluxo sendo transmitido, onde s e L são o número de fatias por pacote de vídeo e o número de pacotes por quadro, respectivamente obtidos a partir das configurações e paquetização do padrão de codificação do vídeo. O parâmetro \bar{n} representa a o padrão de explosão de perda ($1.06 \geq \bar{n} \geq 1$ para perdas em rajada seguindo o modelo de Bernoulli e que depende da agressividade da rajada de perda). O fator de atenuação γ ($\gamma < 1$) leva em conta o efeito de filtragem espacial e varia como uma função das características do vídeo e do processo de decodificação. P_e é a probabilidade de eventos de perda (de qualquer tamanho) no fluxo. Ambos, γ e P_e são dados pelo efeito do padrão de perda experimentado pelo fluxo de vídeo e a técnica de ocultação de erros do codec. Finalmente, a distorção dada pelo Erro Médio Quadrático (do Inglês, *Mean Square Error* - MSE) \bar{D} provê uma estimativa de QoE (C_{QoE}) utilizando uma relação não linear que mede o nível de qualidade do vídeo através da comparação das distorções causadas pelas perdas de pacotes contendo fatias de quadros de vídeo [Tao et al. 2008], de acordo com cada tipo de quadro, denotada na Equação (4.4):

$$\bar{D} = sL \cdot \bar{n}P_e \cdot \sigma_s^2 \cdot \left(\frac{\gamma^{-t+1} - (T+1)\gamma + T}{T(1-\gamma)^2} \right) \quad (4.3)$$

$$C_{QoE}^{ub}(W(VF_i)) = \frac{1}{1 + \exp(b_1 \cdot 10 \cdot \log_{10}(255^2/\bar{D}) - b_2)} \quad (4.4)$$

Onde, b_1 é o declive da curva de mapeamento de QoE e b_2 é o ponto central. Considerando 40 dB como a qualidade de vídeo mais alta, e a menor qualidade de vídeo para valores abaixo de 20 dB, os valores de b_1 e b_2 são dados por 0.5 e 30, respectivamente. Baseado na distorção média causada pelas perdas em diferentes tipos de quadros em $W(VF_i)$, é possível para os RVs computarem um maior FF baseado no recebimento dos pacotes mais importantes.

4.1.3.4 Integração da etapa EBC do BRQ com um SRP

Esta subseção apresenta o mecanismo BRQ em conjunto com um protocolo de roteamento adjacente. Para avaliar as funcionalidades do BRQ, foi desenvolvida e adaptada a etapa EBC juntamente com um protocolo simples para *broadcast* que foi construído usando a estratégia de encaminhamento baseado em distância. Para esta união do me-

canismo BRQ com um SRP que usa encaminhamento baseado em distância, foi dado o nome de protocolo DBRQ (*Distance BRQ*). Na estratégia de encaminhamento baseado em distância calcula-se a cobertura através da distância (C_D) a partir do *RV* para o nodo anterior transmitindo. Quando C_D é pequeno, significa que *RV* está próximo do último nodo que está transmitindo, indicando que o *RV* não deve realizar o *rebroadcast*. Somente a informação de posicionamento local é utilizada no método de encaminhamento baseado em distância para calcular C_D nos *RVs*. Portanto, a distância espacial é definida de acordo com a Equação (4.5) para um *RV* posicionado em (x, y) e um nodo anterior transmitindo localizado em (\bar{x}, \bar{y}) . O valor encontrado, é então, normalizado para um valor entre zero e um, dividindo-se pelo raio de transmissão máximo (R). Assim, os *RVs* com maiores distâncias geográficas para o último nodo transmitindo, geram maiores valores de FF .

$$C_D = \frac{1}{R} \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2} \quad (4.5)$$

Para adicionar o mecanismo BRQ ao SRP baseado em distância, foi estabelecido dois critérios como entrada para a FF (Eq. (4.6)): posicionamento do veículo (C_D) e parâmetros relacionados a vídeo (C_{QoE}), possibilitando uma seleção *cross-layer* de *RVs* em adição ao único parâmetro de posicionamento do SRP baseado em distância. Como definido na Equação (4.5), a estratégia de encaminhamento baseada em distância não troca mensagens contendo localização ou informação de mobilidade. Assim, o DBRQ também mantém as características de SRP baseado em distância e baseado em receptor ao determinar as melhores opções de *RVs* (FFs). Além disso, o BRQ pode ser acoplado a outros SRPs, simplesmente mudando-se os parâmetros na etapa EBC para o processo de seleção de *RV*. Esta mudança pode ser feita para adequar-se a SRPs baseados em qualidade de sinal recebido, baseados em parâmetros estocásticos, baseados em contadores etc. Dependendo da estratégia de roteamento empregada, os passos do BRQ na etapa EBC podem ser facilmente adaptados.

4.1.4 Etapa 2 - Encaminhamento Livre de Contenção (ELC)

Como transmissões de vídeo possuem frequentemente longa duração (por exemplo, 20s), sempre quando um dado nodo vence a etapa EBC, o *SV* transmite pacotes de vídeo explicitamente sem qualquer atraso adicional e, seguindo uma abordagem em “*pipeline*” percorrendo o *backbone* (t_2 nas Figuras 4.5e e f). Portanto, o BRQ reduz duplicação de pacotes e atrasos adicionais oriundos da etapa 1 (EBC) através da introdução da etapa

de Encaminhamento Livre de Contenção (ELC). Durante a transmissão, o conteúdo de vídeo deve ser entregue mesmo na presença de falhas de nodos e variações de canal. O BRQ detecta falhas de roteamento, provendo um gerenciamento de *backbone* suave. Em particular, o BRQ considera que todo nodo que compõe o *backbone* para disseminação de vídeo, deve perceber se o mesmo é ainda confiável para transmitir os pacotes. Isto é alcançado através do recebimento de mensagens de resposta. Foi definido um pacote de controle, chamado *Peer Quality Message (PQM)*, o qual contém o \bar{D} percebido por cada nodo encaminhador (FV). Deste modo, no caso de comunicação V2V, se um dado FV_2 recebe um fluxo de vídeo de um FV_1 , o primeiro deve computar o \bar{D} (distorção) percebida em cada $W(VF)$ e enviar um $PQM_{W(VF)}$ para RV_1 .

Um *backbone* retorna para a etapa EBC, quando o FV anterior ou o MS detecta se a qualidade do vídeo decai para abaixo de um limiar predefinido de distorção de vídeo (\bar{D}_t). Além disso, qualquer nodo que compõe um *backbone* em transmissão, considera que a rota não é mais válida assim que não detecta mais quaisquer mensagens de resposta oriundas de FVs anteriores dentro de um certo período de tempo, ou seja, um *timeout* = 0.5s. Assim, o *backbone* retorna para a etapa EBC e reestabelece um novo *backbone*. No caso do cenário V2I, é o MS que recebe o $PQM_{W(VF)}$, assim, no caso da diminuição da qualidade do vídeo para abaixo de (\bar{D}_t) ou passado um *timeout* = 0.5s, o MS envia um AVB para o FV anterior e a rota retorna para a etapa EBC.

Após computar C_{QoE} e C_D , cada RV contém os critérios calculados, ou seja, $C = \{C_{QoE}, C_D\}$ ($|C| = 2$). Assim, considerando os diferentes pesos $\omega_p | \sum_{p=1}^{|C|} \omega_p = 1$, a Equação (4.6) calcula a FF através da multiplicação dos valores d_p em C e os pesos dos critérios de avaliação, similarmente a outras abordagens de múltiplos critérios [Obayiuwana and Falowo 2016]. A partir da Equação (4.6), outros critérios podem ser adicionados à FF do BRQ, dependendo somente do SRP utilizado.

$$FF = \sum_{p=1}^{|C|} (d_p \times \omega_p) \quad (4.6)$$

Capítulo 5

Avaliação de Desempenho

Este capítulo apresenta os parâmetros, cenários e métricas usadas para avaliar o nível de qualidade dos vídeos disseminados dentro de topologias V2V e V2I, onde o mecanismo BRQ, adicionado ao SRP baseado em distância (protocolo DBRQ), é comparado com os principais trabalhos relacionados atuais. Também é avaliado o desempenho do método de correção de erros na camada de Aplicação quando adicionado à um protocolo de roteamento, no que se refere à qualidade dos vídeos. Além disso, é analisado o impacto do cenário V2V e V2I e o número de veículos na alcançabilidade de cada SRP. Finalmente, é apresentada a influência na qualidade dos vídeos das falhas de nodos causadas pela mobilidade e os resultados obtidos pela avaliação subjetiva da qualidade de vídeo em diferentes distâncias em relação ao local do acidente ou evento.

5.1 METODOLOGIA

Esta tese teve como base inicial a pesquisa bibliográfica e referencial no sentido de levantar um material teórico que proporcionou a fundamentação teórica sobre as abordagens recentes para disseminação de *streaming* de Vídeo em VANETs. Por isso, a primeira etapa foi a revisão de literatura para efeito de leitura, citação, análise e revisão bibliográfica. A pesquisa do estado-da-arte, apresentada no Capítulo 3, permite observar a falta de confiabilidade e consistência para dar suporte a QoE nas técnicas de *streaming* de vídeo propostas. Como resultado, torna-se importante investigar os potenciais e fraquezas dessas técnicas e aprimorar seus desempenhos para atender a requisitos de QoE. A diversidade de soluções existentes para *streaming* de vídeo e a categoria específica a que pertencem, torna suscetível a influencia de parâmetros relacionados a vídeo na qualidade

final nos vídeos recebidos pelos veículos envolvidos.

A metodologia seguida nesta tese é uma combinação das comparações qualitativas e quantitativas entre diferentes abordagens de disseminação de vídeo sobre VANETs. A comparação qualitativa examina as diferentes abordagens de forma teórica, enquanto que a comparação quantitativa fornece algumas informações sobre o impacto dessas abordagens no desempenho da rede. Estas comparações oferecem diretrizes fortes, bem como sugerem o projeto de soluções para *streaming* de vídeo através de VANETs. A figura 5.1 apresenta um fluxograma com a divisão de atividades seguida por esta pesquisa.

A pesquisa teve uma abordagem qualitativa por analisar questões referentes ao estudo de caso de QoE como suporte à disseminação de vídeos em tempo real sobre VANETs. Quanto aos objetivos deste estudo, fez-se necessário recorrer às pesquisas exploratórias e explicativas. A primeira porque buscou levantar informações sobre o objeto de estudo desta tese no sentido de projetar e avaliar o desempenho de métodos e técnicas para tráfego de dados dentro de VANETs, confrontando com um mecanismo proposto que utiliza princípios de QoE como uma alternativa natural para melhorar as aplicações e serviços baseados em vídeos na tecnologia de rede supracitada. A segunda foi utilizada com o fim de analisar e registrar os fenômenos estudados sobre o assunto em questão por meio do método experimental e de simulação e da interpretação possibilitadas por ambos, métodos qualitativo e quantitativos.

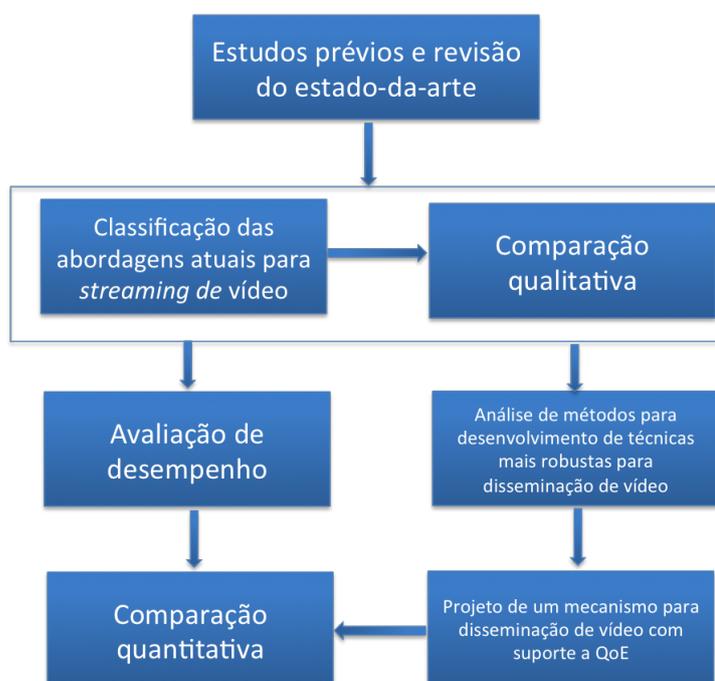


Figura 5.1: Modelo de atividades utilizado neste trabalho.

5.2 PARÂMETROS, CENÁRIOS E MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

No que se refere a configuração dos cenários a serem analisados nesta tese, para o estabelecimento de rotas de veículos urbanas e de autoestrada relevantes, foi considerada uma área de 5 quilômetros quadrados do Oeste de Los Angeles e um trecho de 10 Km da San Diego Freeway (que percorre próximo do campus da UCLA, em Los Angeles, local em que parte deste trabalho foi desenvolvido), respectivamente, como se pode ver na Figura 5.2. Estes cenários foram importados a partir da ferramenta OpenStreetMap [Haklay and Weber 2008], a qual foi exportada no simulador de mobilidade SUMO (*Simulation of Urban MObility*) [Lim et al. 2016]. Essas ferramentas permitiram reproduzir os movimentos desejados dos veículos e as interações V2V e V2I de acordo com dados empíricos.

Nas simulações, para o cenário urbano, os veículos se movem com velocidades entre 6 e 20 m/s, por outro lado, para o cenário de autoestrada, os veículos trafegam com velocidades entre 20 a 30 m/s. Em ambos os cenários, cada veículo possui um rádio IEEE 802.11p (5.89 GHz, 6 Mbps) com raio de transmissão de cerca de 250 m, um rádio 3GPP LTE (700 MHz, 300 Mbps) com um alcance de transmissão de até 30 km e um TB_{Max} de 30 pacotes. O *Nakagami Fading Channel* foi usado como modelo de propagação nas simulações. A Rede de Acesso (do Inglês, *Radio Access Network* - RAN) consiste de eNBs, que gerenciam recursos de rádio e eventos de *handover*. Os ENBs conectam um *Serving Gateway / PDN Gateway* (SGW/PGW) através da rede *Evolved Packet Core* (EPC), que contém uma Entidade de Gerenciamento de Mobilidade (do Inglês, *Mobility Management Entity* - MME) com o MS, responsável por armazenar informações de posição dos veículos.

Seguindo a abordagem proposta em [Torres et al. 2015], foi simulada uma situação de acidente, de forma que, quando um *SV* percebe o acidente, o mesmo começa a disseminação de *VF*. Cada simulação dura 500s, onde, um *SV* dissemina um *VF* em qualquer momento após os 100 segundos iniciais e antes dos 100 segundos finais. Cada *VF* deve ser recebido por veículos em uma distância menor do que 2,5 km a partir do acidente, provendo assim, uma limitação de saltos, como proposto em [Di Felice et al. 2013]. Os resultados são apresentados com variações no número de veículos (50 a 200 veículos por quilômetro quadrado) e distância em relação ao acidente (500 a 2500m), sendo uma média de 35 simulações (com 95% de nível de confiança).

Visando resultados realísticos, foi utilizado o framework Evalvid - *A Video Quality Evaluation Tool-set* [Klaue et al. 2003] que permite avaliar a qualidade de vídeos reais

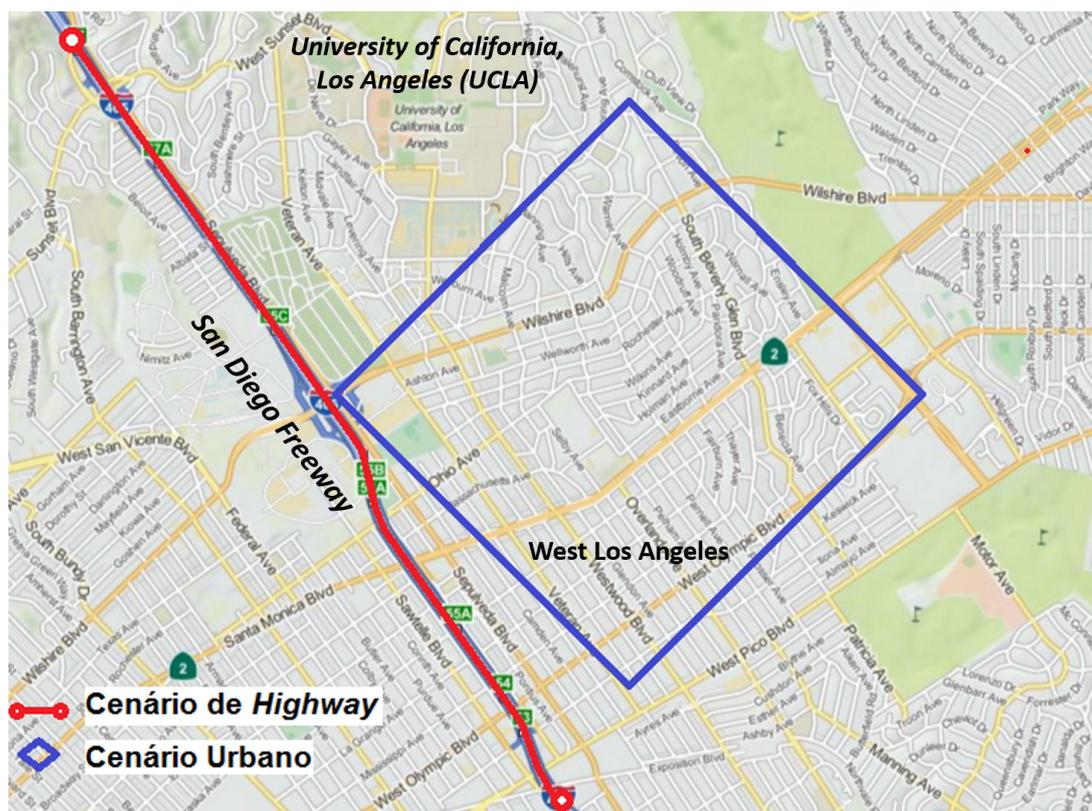


Figura 5.2: Cenários utilizados nas simulações.

dentro do simulador. Deste modo, foram conduzidos experimentos com a transmissão de seqüências reais MPEG-4 (720 x 480 pixels) geradas por usuários, que duram aproximadamente 25s, disponíveis em [Video Sequences 2016], com 768kbps e 24fps. A estrutura interna do GoP (tamanho de 18 quadros) foi configurada com dois quadros B para cada quadro P [Demos 2016], e distância de entrelaçamento utilizada foi a padrão ($d = 2$). Os vídeos e as características das rotas e veículos foram adicionados dentro do Network Simulator, versão 2.33.

Para demonstrar o impacto do DBRQ ao realizar o *broadcast* de fluxos de vídeo em VANETs com suporte a QoE, foi usado um simples SRP construído com a estratégia de encaminhamento baseada em Distância (nomeadamente DIST), o SRP DTM proposto em [Slavik et al. 2015], e o SRP ACDB proposto em [Torres et al. 2015] para comparação. Os protocolos DTM e ACDB usam estratégias de encaminhamento baseadas em Distância e Contador, respectivamente. No DTM quanto mais distante o nodo, em relação ao meio espacial, menor será o *BackoffTimer*. No caso do ACDB, o mesmo usa a informação de densidade provida por uma abordagem que usa *beacons* para, dinamicamente ajustar um contador e o *BackoffTimer* máximo antes de retransmitir o pacotes. Estes protocolos foram ajustados com a etapa ELC para reduzir fase de contenção: uma vez que um

veículo transmite pacotes de vídeo com sucesso, o seu temporizador para os próximos pacotes será mínimo. Além disso, cada protocolo foi adicionado em nodos com duas interfaces, IEEE802.11p e LTE, onde as eNBs executam a seleção de RVs. Essas melhorias foram introduzidas pelo motivo de que, o protocolos no formato padrão, não representam comparações justas.

Os impactos e benefícios dos protocolos acima foram avaliados pelas seguintes métricas baseadas em QoS: Taxa de Entrega de Pacotes (do Inglês, *Packet Delivery Rate* - PDR), Atraso Médio, e Alcancabilidade, a qual mostra a fração média de nodos que recebem os vídeos disseminados. Dado que medir a experiência humana enquanto assistindo as sequências de vídeo é um requisito chave desta tese, medições baseadas em QoE foram realizadas com as métricas *Structural SIMilarity* (SSIM) e *Mean Opinion Score* (MOS). O SSIM é uma métrica de QoE objetiva (matematicamente calculada) amplamente conhecida que mede a distorção estrutural dos vídeos para obter uma melhor correlação com a impressão subjetiva dos usuários. O SSIM é baseado em uma medição quadro a quadro de três componentes (luminância, contraste e similaridade estrutural) e é dado por um valor decimal entre zero e um, onde zero significa que não há correlação com a imagem original e um significa que são exatamente as mesmas imagens. O SSIM é calculado em vários sub-quadros de uma imagem. A medição entre dois sub-quadros x e y de mesmo tamanho $N \times N$ é apresentada pela Equação 5.1:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (5.1)$$

Onde, μ_x e μ_y significam as médias de x e y , respectivamente. σ_x e σ_y são o desvio padrão de x e y , respectivamente. σ_{xy} é a covariância de x e y , $c_1 = (k_1L)^2$, $c_2 = (k_2L)^2$ são duas variáveis para estabilizar a divisão, L é a faixa dinâmica dos valores de pixels, e $k_1 = 0,01$ e $k_2 = 0,03$, por definição. Neste trabalho, os resultados de SSIM foram obtidos usando um software offline chamado *MSU Video Quality Measurement Tool* [Vatolin et al. 2009].

Apesar da métrica SSIM ser largamente empregada para prever a qualidade percebida de um vídeo em muitos estudos dirigidos a QoE, esta não pode ser usada em tempo real e executa de maneira inferior comparada ao MOS. Neste sentido, também foram utilizados experimentos subjetivos para confirmar os resultados encontrados pela métrica objetiva SSIM. Para os experimentos subjetivos (MOS), um aplicativo para a plataforma Android [VEMOS 2014] foi utilizado (seguindo as recomendações do ITU-R) para reproduzir os vídeos transmitidos e coletar suas avaliações. O método *Single Stimulus* do ITU-R BT.500 foi empregado nos testes, onde 35 pessoas com idades entre 18

e 40 foram convidadas para participar do processo. Após assistir um vídeo, cada pessoa avalia o nível da qualidade do vídeo selecionando uma nota entre 1 a 10, onde 1 significa qualidade pobre e 10 significa qualidade excelente. Os vídeos transmitidos foram reproduzidos em um Samsung Galaxy Tab 3 com uma tela de 8.4 polegadas, dispositivo este que melhor representa o contexto e condições de um veículo, por exemplo, uma tela instalada atrás do banco de um carro.

Os pesos dos quadros I, P, e B (α_1 , α_2 , and α_3) afetam o desempenho do BRQ. Foram conduzidas avaliações empíricas independentes usando um conjunto de 15 seqüências de vídeos com o objetivo de determinar esses pesos [Seeling and Reisslein 2012]. Para cada seqüência de vídeo, foram seguidas as orientações propostas por Immich et al. [Immich et al. 2013], onde intencionalmente foram removidos um quadro (de cada tipo) de um GoP randomicamente. Após isso, os valores de SSIM foram obtidos sem o quadro removido, isto é, o primeiro valor de SSIM foi calculado sem um quadro B, o segundo valor de SSIM foi calculado sem um quadro P, e o terceiro valor de SSIM foi calculado sem um quadro I. Através de uma análise estatística simples dos valores encontrados, é possível concluir que $\alpha_1 = 0.65$, $\alpha_2 = 0.3$, and $\alpha_3 = 0.05$ dão os melhores resultados de C_{QoE} . Além disso, os pesos para os critérios ω_1 e ω_2 foram fixados em 0.6 e 0.4, respectivamente. Isto porque o BRQ alcançou o melhor compromisso entre menor número de saltos, juntamente com enlaces confiáveis e satisfatória qualidade de vídeo para encaminhar os pacotes de vídeo. Em adição, foi configurado \bar{D}_t para 0.75, $W(VF)$ para 80 ms, e CW_{Max} para 100ms [Wang et al. 2014]. No lado dos receptores, o decodificador usa a técnica de ocultação de erros *Frame-Copy*, que consiste na substituição dos quadros perdidos pelo último quadro bem recebido [Aguiar et al. 2014].

5.3 IMPACTOS DO USO DA TÉCNICA DE CORREÇÃO DE ERROS NA CAMADA DE APLICAÇÃO

As Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram a comparação em qualidade de vídeo (Métrica SSIM) entre o uso e o não-uso da técnica de Intercalação de quadros para correção de erros em uma rede V2V urbana composta de 200 veículos por quilômetro quadrado, onde os vídeos são recebidos por veículos localizados dentro de uma faixa de 500m, 1500m e 2500m a partir do acidente. Os valores de SSIM variam de 0 a 1, onde um valor mais alto significa uma melhor qualidade de vídeo. Para todos os protocolos, a técnica de Intercalação de quadros demonstrou uma melhora na qualidade dos vídeos em cerca de

21%, 17,2 % e 15,4 % para as Figuras 5.3, 5.4 e 5.5, respectivamente, comparado às transmissões multimídia sem a Intercalação. Isto acontece em função de que maiores lacunas causadas por perdas consecutivas de quadros em um *streaming* de vídeo podem ser espalhadas em várias pequenas lacunas, assim, a Intercalação de quadros diminui o número de perdas entre quadros importantes que são vizinhos (em um GoP) e, assim, mais GoPs são decodificados no lado do receptor. Em outras palavras, no caso da Figura 5.4, por exemplo, com o uso de uma distância de Intercalação ($d = 2$), todos os SRPs conseguiram reduzir o número de pacotes perdidos de quadros I ou P vizinhos em cerca de 17% e o número de pacotes perdidos de quadros P vizinhos em 26%. Além disso, com a técnica *Frame-Copy* para ocultação de erros, o último quadro bem recebido substitui a lacuna de pacotes perdidos consecutivamente, assim melhorando a qualidade percebida do *streaming* de vídeo [Claypool and Zhu 2003]. Como conclusão, a Intercalação mitiga o impacto de perdas de pacotes por rajada em conexões com períodos de congestionamento e erros, além de apoiar a transmissão de vídeos sobre ambientes de rede com largura de banda limitado e não confiáveis. Tudo isso com sobrecarga reduzida, como requisitado em muitas aplicações multimídia móveis de VANETs.

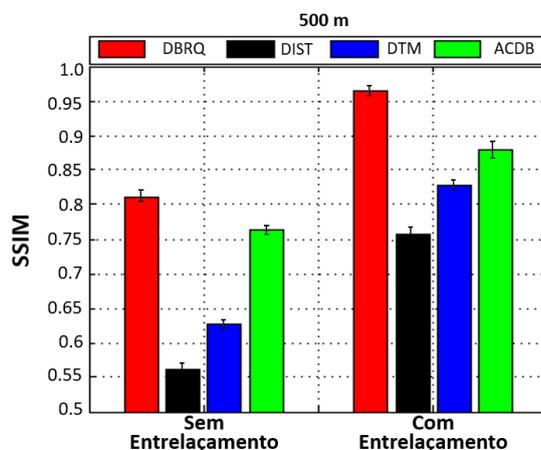


Figura 5.3: Impacto da Técnica de Correção de Erros à 500m do acidente.

A partir das Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 percebe-se que o protocolo DBRQ experimentou a maior qualidade de vídeo em relação ao demais SRPs em ambos os casos, com e sem Entrelaçamento de quadros. Isto é devido ao uso de parâmetros relacionados a QoE e vídeo durante a construção do *backbone* de roteamento móvel, com explicado na Seção 5.6. Por outro lado, os outros protocolos, em particular DIST e DTM, obtiveram uma qualidade de vídeo inaceitável quando a técnica de Correção de Erros foi retirada. Deste modo, o uso de um único parâmetro, no nível de roteamento, tanto baseado em posicionamento quanto em QoS, não é suficiente para prover uma disseminação de vídeo satisfatória a partir da perspectiva do usuário. Além disso, torna-se claro que a qualidade fim-a-fim

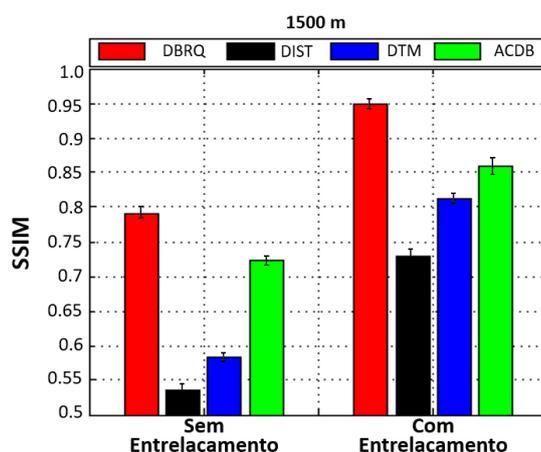


Figura 5.4: Impacto da Técnica de Correção de Erros à 1500m do acidente.

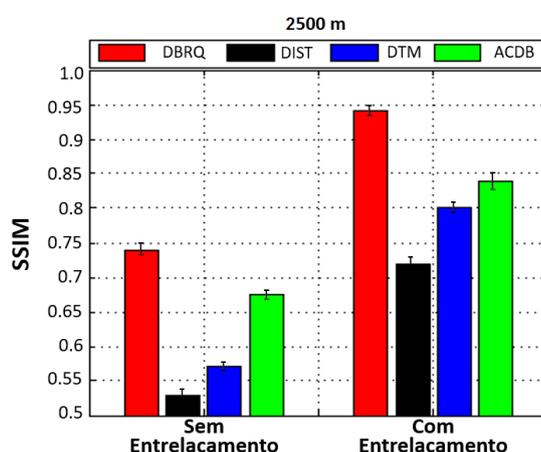


Figura 5.5: Impacto da Técnica de Correção de Erros à 2500m do acidente.

de aplicações centradas em conteúdo e sensíveis a atraso (por exemplo, disseminação de vídeo em tempo real) pode ser fortemente melhorada, mas não assegurada, através do uso de Técnicas para Correção de Erros na Camada de Aplicação, em combinação com SRPs.

5.4 IMPACTOS DOS CENÁRIOS V2V E V2I

A alcançabilidade é definida como a fração de nodos na rede que receberam os vídeos disseminados. Esta métrica se torna importante para determinar se vídeos em tempo real (que podem ser notificações e avisos de acidentes) são recebidos pela maioria dos veículos da rede. Essa seção investiga o impacto dos cenários urbanos e de autoestrada na alcançabilidade de cada protocolo. Como os resultados obtidos com esses dois cenários são semelhantes, a comunicação V2I foi investigada somente para os cenários de autoes-

trada. A partir da Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 os protocolos DBRQ, DIST, e DTM notavelmente superam o ACDB em termos de alcançabilidade. Isto acontece devido o protocolo ACDB não usar parâmetros de posicionamento para seleção de nodos de encaminhamento, dado que este é um SRP baseado em Contador.

No cenário de autoestrada, quando o número de veículos por quilômetro quadrado é pequeno (entre 50 e 100), todos os protocolos atingem uma menor alcançabilidade. Isto decorre do fato de que há possíveis distribuições e mobilidade irregulares dos veículos na rede, o que pode causar problemas como áreas vazias (*void areas*). Este problema não acontece de forma frequente no cenário de urbano V2V e V2I devido ao menor espaço onde o vídeo deve ser disseminado, gerando uma maior alcançabilidade mesmo para situações com menor densidade de veículos. Quando o número de veículos por quilômetro quadrado é maior (entre 150 e 200), todos os protocolos executam com uma boa alcançabilidade (entre 93% e 99%) em todos os cenários (urbano V2V, urbano V2I e de autoestrada V2V), dado que a possibilidade de *void areas* se torna menor. Além disso, para cenários com uma maior densidade de veículos as opções de rota são maiores, o que incorre a menores casos de quebra de conexões e a maior cobertura dos SRPs.

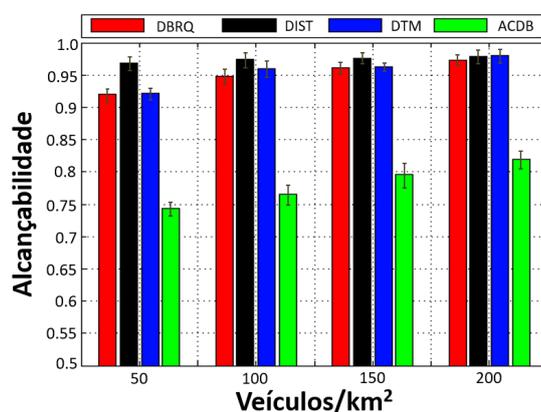


Figura 5.6: Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário urbano V2V.

Para o cenário de autoestrada, em média, os protocolos DBRQ e DTM aumentam a alcançabilidade em 18.6% e 18.9% comparado ao protocolo ACDB, respectivamente, enquanto o protocolo DIST aumenta a alcançabilidade em 2.4% e 2.1% sobre os protocolos DBRQ e DTM, respectivamente. No que diz respeito ao cenário urbano V2V e V2I, os resultados são ligeiramente mais altos em média, no entanto, bastante similares. Para o cenário urbano V2I (Figura. 5.8), ocorre ainda um ligeiro aumento da alcançabilidade dos protocolos. Isto acontece em função da rede LTE presente em torno da VANET, que permite uma melhor seleção dos nodos interessados em receber o vídeo disseminado e excluindo vários nodos indo em sentidos contrários às transmissões. A maior alcançabilidade

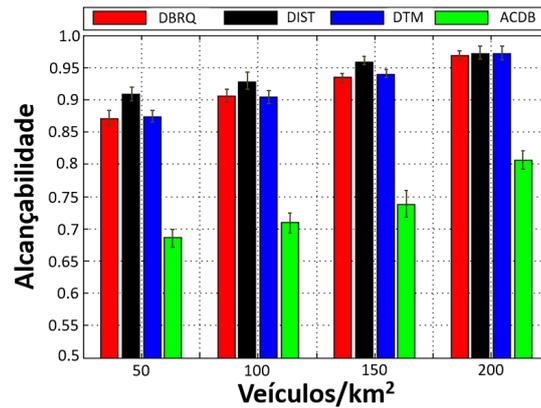


Figura 5.7: Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário de autoestrada V2V.

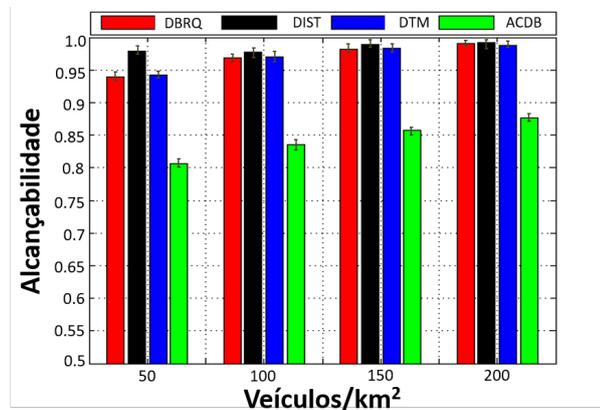


Figura 5.8: Alcançabilidade vs Densidade de veículos para todos os protocolos no cenário urbano V2I.

do protocolo DIST em todos os cenários se dá devido aos critérios de seleção dos protocolos DBRQ e DTM, onde os veículos encaminhadores são (potencialmente) veículos mais próximos que experimentam rotas com conectividade mais estáveis, permitindo assim, um maior PDR, como apresentado na Seção 5.5.

As Figuras 5.9, 5.10 e 5.11, mostram o número de veículos de encaminhamento sobre o número de veículos que recebem os vídeos para os cenários urbano V2V e V2I e de autoestrada, respectivamente. Estas figuras apresentam uma medida da eficiência do protocolo. Dado que seja atingida uma alcançabilidade satisfatória para um *broadcast* de vídeo, quanto menor o número de veículos de encaminhamento, mais eficiente é o protocolo. Esta eficiência acontece devido os protocolos demandarem menos sobrecarga e transmissões redundantes. Como ilustrado pelas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11, todos os protocolos possuem comportamento similar, no entanto, o protocolo DIST provê um desempenho muito inferior quando comparado com os outros. Os protocolos DBRQ, DIST e DTM são

idênticos, exceto pelo fato de que o DIST utiliza a estratégia de encaminhamento baseada em Distância, o DTM usa a estratégia de encaminhamento baseada em Distância-para-o-Meio, e o DBRQ usa a estratégia de encaminhamento baseada em Distância acoplada juntamente com parâmetros relacionado a vídeo. Portanto, todos esses protocolos usam um tempo de contenção que varia (parcialmente ou não) com distância geográfica.

Nos resultados anteriores, (Figuras 5.6, 5.7 e 5.8), esses protocolos exibem uma alcançabilidade muito próxima, e são justamente configurados de forma que o *threshold* para encaminhamento permita uma alta alcançabilidade em cada teste. Em termos do número de veículos de encaminhamento para cumprir com este nível de alcançabilidade, o DBRQ e o DTM uniformemente consomem menos largura de banda sem fio do que o DIST. Para o caso do protocolo ACDB, o *threshold* é adaptativo, em outras palavras, ele depende da densidade dos veículos. Assim, quanto mais veículos, menor o *threshold* para as transmissões, o que leva a um menor número de veículos de encaminhamento por veículos recebendo o vídeo. Apesar desses aparentes bons resultados em termos de sobrecarga e eficiência, o ACDB não atinge boa alcançabilidade, portanto, ele não trabalha satisfatoriamente para disseminação de *streaming* de vídeo em VANETs. No que se refere ao número de nodos de encaminhamento pelo número de nodos que recebem os vídeos no cenário V2I, através da análise da Figura 5.10, é possível perceber que todos os protocolos sob uma rede LTE-VANET desempenham com uma melhor eficiência. Isso acontece por conta da “visão global” da rede, que permite uma seleção mais aprofundada dos nodos de encaminhamento e os nodos interessados em receber os vídeos, ao mesmo tempo mantendo uma alta alcançabilidade, conforme visto na Figura 5.8.

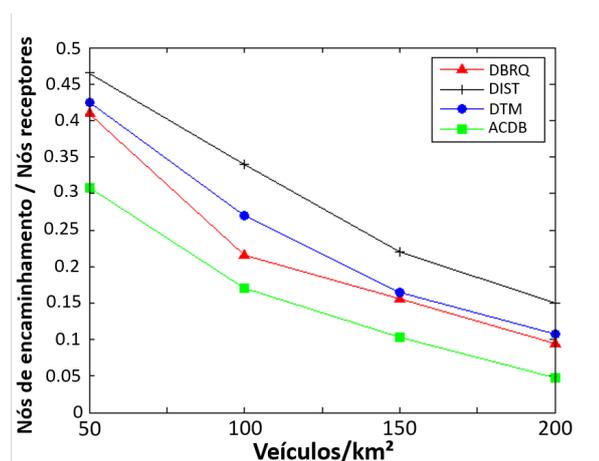


Figura 5.9: Nodos de encaminhamento sobre nodos que recebem o vídeo vs densidade de veículos no cenário urbano V2V.

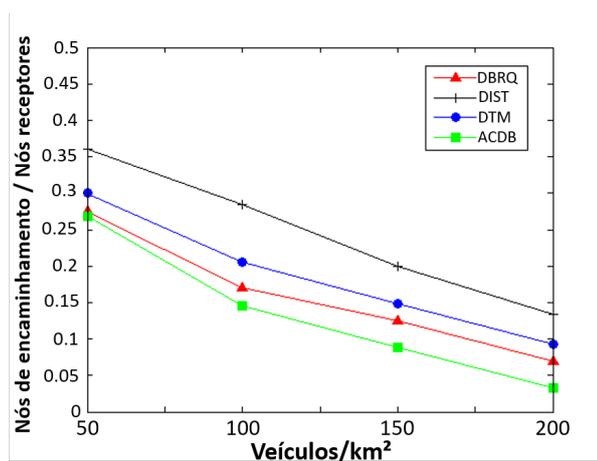


Figura 5.10: Nós de encaminhamento sobre nós que recebem o vídeo vs Densidade de veículos no cenário urbano V2I.

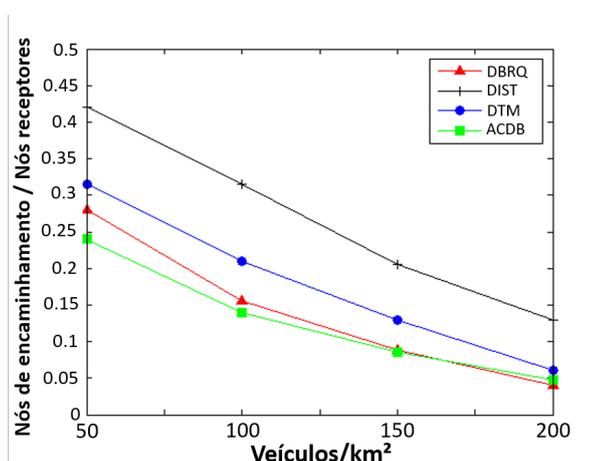


Figura 5.11: Nós de encaminhamento sobre nós que recebem o vídeo vs Densidade de veículos no cenário de autoestrada V2V.

5.5 AVALIAÇÃO BASEADA EM QOS

No que se refere ao desempenho da rede em PDR e atraso médio, as Figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 apresentam os resultados para cada um dos quatro protocolos simulados no cenário urbano V2V e V2I, respectivamente. Como mencionado anteriormente (Seção 5.4), o protocolo DIST atinge uma alta alcançabilidade, mas enfrenta várias situações de quebras de conexão, o que leva a um baixo PDR (Figuras 5.12 e 5.13). No entanto, em média, o protocolo ACDB alcança um PDR ligeiramente superior em comparação ao protocolo DTM, isto é, em torno de 4,3%. Isto acontece porque algumas vezes o DTM elege nós de encaminhamento mais distantes, principalmente quando há poucos veículos vizinhos. Por outro lado, o ACDB adapta a função FF_t dependendo do número

de vizinhos, assim, aumentando o PDR. Através da Figuras 5.12 e 5.13, é possível perceber que o PDR alcançado pelos protocolos diminui fortemente a partir da distância de 2000m a partir do local do acidente, o que indica que mesmo para esquemas que levem em consideração parâmetros relacionados a QoE, como o protocolo DBRQ, uma quantidade demasiada de saltos interfere no número de pacotes enviados e na transmissão como um todo. Além de menores taxas de PDR, no cenário com comunicação V2V (Figura 5.12) percebe-se também uma variação dos valores de PDR bem maior quando comparado com o cenário com comunicação V2I (Figura 5.13). Isto acontece pelo motivo de que a gerência das rotas utilizando comunicação puramente entre veículos (V2V) ser mais instável do que se realizada com o suporte da rede LTE (V2I), que centralizadamente consegue redistribuir melhor os *FVs* em casos de necessidades de mudanças nas rotas.

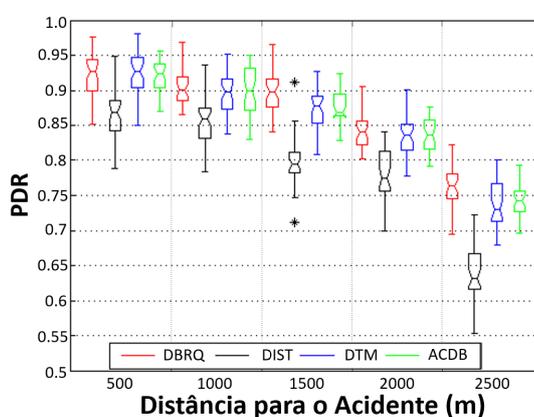


Figura 5.12: PDR para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2V.

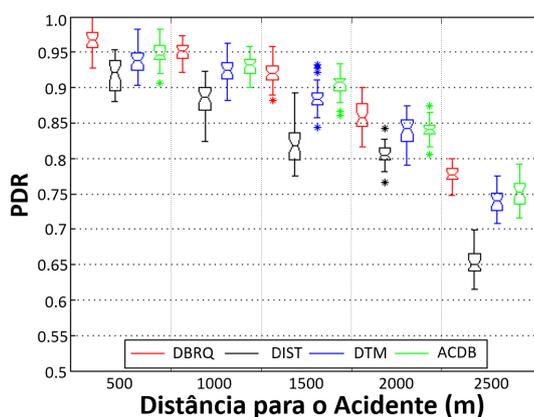


Figura 5.13: PDR para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2I.

O impacto das etapas EBC e ELC são muito significantes e diferentes sobre o atraso médio das transmissões (Figuras 5.14 e 5.15). O principal motivo dessa diferença é que a

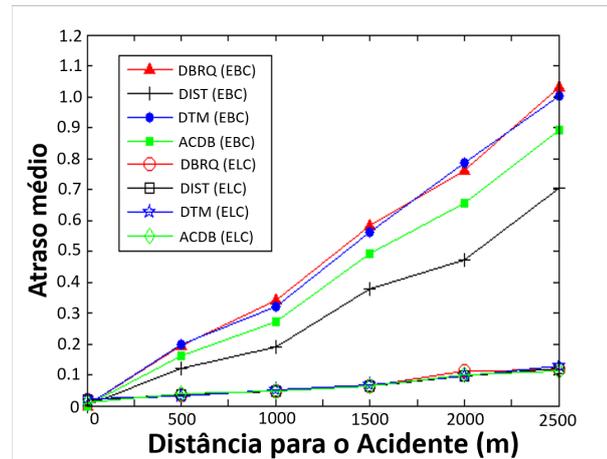


Figura 5.14: Atraso médio para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2V.

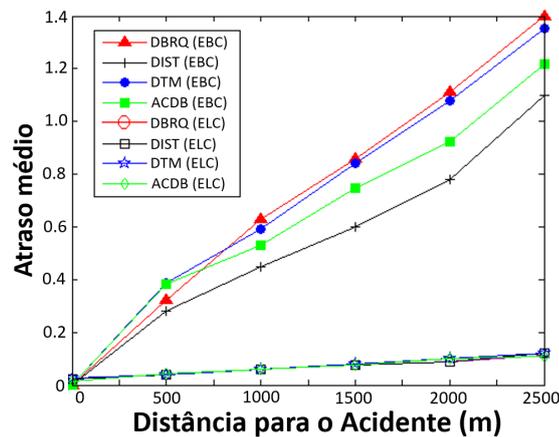


Figura 5.15: Atraso médio para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 no cenário urbano V2I.

etapa ELC permite uma maior redução do atraso médio através do uso de uma estratégia de encaminhamento livre de contenção. Aqui, é considerado o atraso médio requerido por uma $W(VF)$ ser encaminhada dentro de um dado raio de cobertura começando de SV (cenário urbano V2V e V2I). O protocolo DIST na etapa ELC experimenta o menor atraso em relação aos outros protocolos devido o reduzido número de saltos criados pela estratégia de encaminhamento baseada em distância simples. Assim, quando o DIST é comparado com os SRPs DBRQ e DTM, por exemplo na Figura 5.14, a redução, em média, do atraso provido pelo DIST é de 45.4% e 44.8%, respectivamente para 1000m, e de 46.0% e 46.5% para 2000m de raio.

Depois, o DIST é seguido pelo protocolo ACDB, uma vez que este reduz o seu temporizador (*BackoffTimer*) quando na presença de poucos nodos. Como mencionado

anteriormente, o protocolo DBRQ, de acordo com os seus critérios de encaminhamento, provê mais esforço para disseminar fluxos de vídeo com melhor qualidade, isto pode significar o encaminhamento de sequências de vídeo para nodos alternativos, aumentando a duração das transmissões. Por outro lado, o protocolo DIST apenas tenta minimizar o número de saltos e não faz qualquer esforço por estabilidade ou qualidade da conexão. Isto pode resultar em maiores atrasos e rotas com tamanhos maiores no caso do DBRQ. No entanto, os atrasos atingidos pelo protocolo proposto neste trabalho ainda são mínimos mesmo para aplicações de vídeo, já que são significativamente menores do que os requisitos de 4 a 5 segundos definidos pela CISCO [Szigeti and Hattingh 2005].

Quando o cenário de comunicação V2V é comparado com o cenário de comunicação V2I, percebe-se também que o atraso médio aumenta ligeiramente no cenário de redes heterogêneas LTE-VANET (Figura 5.15). A diferença é tarefa da *MS* de seleção de *RVs* através da leitura do posicionamento atual e anterior dos melhores nodos candidatos, ao mesmo tempo levando em consideração os veículos interessados em receber o vídeo a ser disseminado. Isso acaba levando um tempo maior de execução do que se realizado localmente nos próprios veículos num cenário puramente V2V. Ainda com este leve aumento, a diferença é bastante pequena, o que sugere que, em caso de presença de uma rede LTE sob a VANET, se utilize a infraestrutura centralizada da mesma para a gerência da criação das rotas, visando mais eficiência e melhor alcançabilidade, como visto nos resultados anteriores.

5.6 AVALIAÇÃO BASEADA EM QOE

Como discutido antes, as métricas baseadas em QoS (por exemplo, PDR) não são suficientes para medir o nível de qualidade a partir da perspectiva do usuário [Gomes et al. 2009, Fiedler et al. 2010, Grega et al. 2008]. Assim, visando entender e confirmar o impacto dos parâmetros relacionados a vídeo e QoE utilizados no mecanismo BRQ e que foram incorporados no protocolo DBRQ, os resultados nas Figuras 5.16 e 5.17 apresentam as métricas SSIM e MOS, respectivamente. Na figura 5.16, o protocolo DBRQ mantém os valores de SSIM em torno de 0.97 e 0.85. Um aumento médio de 23.4%, 16.3%, e 10.8% comparado ao DIST, DTM, e ACDB, respectivamente. Esta métrica baseada em QoE apresenta resultados mais profundos do que aqueles obtidos na Figura 5.12 e mostra uma análise significativa em relação à experiência dos usuários. Isto é explicado pelo fato de que os SRPs DIST, DTM, e ACDB possuem uma maior taxa de quadros importantes perdidos do que o protocolo DBRQ. Por exemplo, o DBRQ reduz a perda de Quadros I e P em

até 35%, dado que o mesmo lida com parâmetros relacionados à qualidade do vídeo em tempo real para estabelecer rotas mais confiáveis e estáveis, protegendo quadros-chave de períodos de erros de conexão. Além disso, o DBRQ pode estimar quando a qualidade do fluxo de vídeo em transmissão decai, baseado nos tipos de quadros recebidos, configurações de CODEC e perdas, permitindo aos veículos, através do cálculo da função FF , trocar para outros nodos, antes do aumento de danos na qualidade dos fluxos. Por exemplo, supondo que uma $W(VF_i)$ seja recebida com sucesso por um RV_i em $|W(VF_i)|$ ms. Como a distribuição espacial dos veículos não muda muito rapidamente em um curto período de tempo (por exemplo, 3s), é provável que RV_i continue a receber com sucesso um grande número de pacotes até uma nova rota se tornar necessária. Assim, o DBRQ provê um compromisso entre comprimento de saltos e qualidade de vídeo.

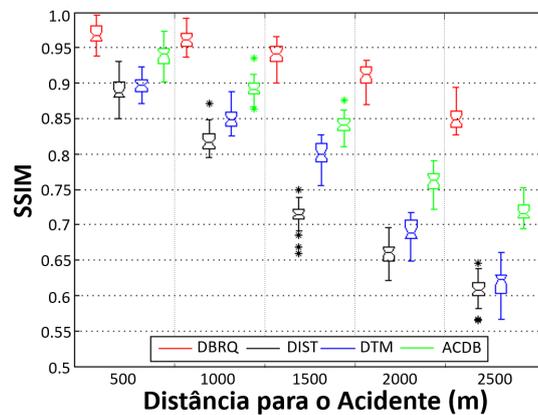


Figura 5.16: SSIM para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 .

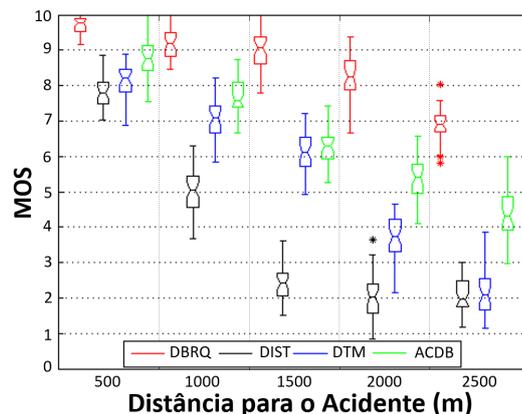


Figura 5.17: MOS para todos os protocolos com 200 veículos/ km^2 .

No que diz respeito à avaliação de vídeo em tempo real, algumas vezes a correlação entre os resultados de SSIM e opiniões subjetivas dos usuários não possuem uma alta pre-

ção. Deste modo, é fundamental a execução de experimentos de MOS com o objetivo de realmente entender os níveis de QoE dos vídeos disseminados na VANET de acordo com a percepção humana [Aguiar et al. 2014]. Os resultados na Figura 5.17 reforçam os resultados da Figura 5.16, a qual claramente mostra a correspondência positiva (Correlação de Pearson ≥ 0.84 para cada SRP) entre as duas métricas consideradas. Além disso, esses resultados demonstram que os parâmetros relacionados a vídeo para seleção e manutenção de rotas, podem ser perfeitamente estendidos com sucesso a partir do modelo de distorção introduzido por Shu Tao em [Tao et al. 2008], além de funcionarem satisfatoriamente quando empregados no BRQ. A Figura 5.17 apresenta a média das notas de MOS para todos os protocolos e confirma que o DBRQ permite a distribuição de sequências de vídeo em tempo real com boa ou excelente qualidade em VANETs.

Foi aleatoriamente selecionada uma amostra de quadro a partir dos vídeos transmitidos [Video Sequences 2016] em uma rede com 200 veículos por quilômetro quadrado e em uma distância de aproximadamente 2000m a partir do acidente, visando oferecer ao leitor uma ideia do ponto de vista dos usuários que recebem estes vídeos, como ilustrado nas figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 . O quadro # 365 é o momento em que uma pessoa é atirada para fora do veículo, o qual pode ser de fundamental importância para equipes de resgate que planejam chegar ao local do acidente para prestação de socorros. As sequências transmitidas usando o SRP DBRQ possuem baixa distorção comparado ao mesmo quadro enviado usando os protocolos DIST, DTM, e ACDB. Isto acontece por conta de que o DBRQ estabelece uma rota confiável, e, de acordo com os parâmetros relacionados a vídeo e QoE, o mesmo prioriza nodos recebendo as primeiras *slices* (pacotes) do GoP. Isto se torna importante, dado que em vídeos de acidentes, a perda da primeira *slice* em um quadro, tipicamente causa maior distorção em relação à perda da segunda *slice*, pois há, em geral, mais movimentação na metade superior desses quadros [Tao et al. 2008]. No que se refere às distorções dos quadros transmitidos via os SRPs DIST e DTM, a pessoa não aparece claramente, comparado aos quadros transmitidos via DBRQ e ACDB. Isto pode reduzir a eficácia da ação de equipes de primeiros socorros.

A partir da análise da avaliação de desempenho, foi identificado que, em distâncias excedendo 2000m a partir do acidente, o DISR e DTM trabalham muito inferiormente em termos de QoE comparados aos outros dois protocolos. Apesar disso, esses protocolos (DIST e DTM) obtiveram níveis similares de taxa de entrega e de atraso. Os resultados alcançados nesta tese estão sumarizados na Tabela 5.1.



Figura 5.18: Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DBRQ no quadro 369.



Figura 5.19: Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo ACDB no quadro 369.

Tabela 5.1: Comparação entre os diferentes SRPs baseado nos experimentos de simulação conduzidos.

Prot.	Alcançabilidade	PDR	Atr. médio (EBC)	Atr. médio (ELC)	Sup. à QoE
DBRQ	Alto	Alto	Médio	Baixo	Alto
DIST	Alto	Médio	Baixo	Baixo	Baixo
DTM	Alto	Alto	Médio	Baixo	Baixo
ACDB	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Médio



Figura 5.20: Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DTM no quadro 369.



Figura 5.21: Amostra do vídeo disseminado utilizando o protocolo DIST no quadro 369.

Capítulo 6

Considerações Finais e Conclusões

VANETs se apresentam como um ambiente extremamente desafiador para a implantação de quaisquer serviços de comunicação. O dinamismo de topologia, o meio sem fio compartilhado, a densidade não uniforme e a necessidade de escalabilidade são questões norteiam a concepção de qualquer abordagem prevista para prosperar em tal cenário. Infelizmente não há, atualmente, uma solução integrada que consiga resolver todos esses desafios ao mesmo tempo, assim, é possível identificar diversas questões em aberto para essa tecnologia.

No que diz respeito à serviços que se utilizam de transmissão de conteúdo de vídeo em tempo real sobre VANETs, emergem ainda novos desafios que tornam ainda mais complexa esta tarefa. Os altos requisitos de rede impostos pela natureza não-elástica dos fluxos multimídia devem ser tratados de forma que estes tipos de serviços possam ser aceitos de maneira satisfatória pelos clientes e usuários que os requisitam. Desta forma, em virtude da crescente demanda por essas novas aplicações, a criação de mecanismos que permitam melhor QoE se torna necessária e tem recebido muita atenção da comunidade acadêmica nos últimos anos.

Esta tese introduziu o mecanismo BRQ para disseminação de vídeo em tempo real com suporte à QoE em VANETs. O BRQ permite compartilhar vídeos com uma melhor qualidade em relação aos trabalhos existentes, dado que o mesmo emprega, modularmente, técnicas de correção de erros aliadas à parâmetros relacionados à vídeos para melhorar a seleção dos próximos saltos que comporão a rede. Neste trabalho também foi utilizado o Entrelaçamento como técnica de correção de erros na camada de aplicação que reduz o impacto causado por rajadas de perdas através da separação destas em lacunas menores. Para além do Entrelaçamento, quaisquer outras técnicas existentes podem ser facilmente adicionadas à estrutura de camadas proposta pelo BRQ. A técnica de entrelaçamento

demonstrou bons resultados quando utilizada em conjunto com o SRP, conforme visto no Capítulo 5, no entanto, apenas o uso de técnicas de correção de erros dentro da camada de aplicação não são suficientes para assegurar qualidade em vídeos disseminados dentro de ambientes ad hoc, como as VANETs. Neste caso, também foi proposto o uso de parâmetros de vídeo que são relacionados a QoE para possibilitar a construção e manutenção de rotas com qualidade e centradas da aplicação multimídia.

O mecanismo introduzido nesta tese, chamado de BRQ, permite também a reconstrução de rotas em tempo real assim que um limiar de distorção de vídeo é alcançado por algum nodo pertencente à rota. Esta troca dinâmica é fundamental para que a qualidade da disseminação dos vídeos seja mantida. Embora, no cenário V2V, a troca de nodos com maior nível de distorção para nodos com menor nível de distorção requeira uma nova fase de contenção, onde os nodos vizinhos devem disputar por eles mesmos a posição de novo nodo encaminhador, este processo se mantém abaixo dos níveis de atraso definidos pela CISCO para transmissão de conteúdo de vídeo, e portanto, satisfaz corretamente esse pré-requisito [Szigeti and Hattingh 2005].

Na tentativa de executar experimentos justos, foram apresentadas as estratégias de roteamento mais recentemente propostas em termos de SRPs baseados em receptor para comparação. Foi adicionado a estes protocolos a etapa de Encaminhamento Livre de Contenção (ELC) que permite que após a criação das rotas, o fluxo de dados continue sendo transmitido pela rota sem a necessidade de uma nova etapa de contenção para cada transmissão. Além disso, cada protocolo foi adicionado em nodos com duas interfaces, IEEE802.11p e 3GPP LTE, onde, no cenário V2I, as eNBs executam a seleção dos nodos candidatos à fazerem parte das rotas. Também foi empregada em todos os protocolos a técnica de correção de erros de Intercalação na camada de Aplicação. A diferença entre as abordagens simuladas são justamente os parâmetros para construção das rotas. Estes parâmetros são: apenas distância euclidiana no caso do SRP DIST, distância para o meio geográfico, no caso do protocolo DTM, número de nodos encaminhadores e *threshold* variável para o SRP baseado em contador ACDB e, por fim, parâmetros de distorção de vídeo que estão relacionados à QoE, no caso do SRP proposto, DBRQ.

Foram adicionadas as funcionalidades do mecanismo BRQ a um SRP simples baseado em Distância, onde a seleção da rota passou a ser realizada também com parâmetros relacionados à qualidade dos vídeos sendo transmitidos. À este novo SRP foi dado o nome de DBRQ (Distance BRQ). Os resultados encontrados provam o desempenho e suporte à QoE obtido pelo DBRQ. A qualidade dos vídeos foi medida objetiva e subjetivamente quando a distância para o nodo fonte e a densidade de veículos varia. Além disso, todos os protocolos foram analisados em cenários V2V e V2I (LTE-VANET). No cenário V2V,

através da criação de rotas e de acordo com os seus critérios de encaminhamento, o protocolo DBRQ assegura uma disseminação de fluxos de vídeo em tempo real auto-organizada com uma alta qualidade sob o ponto-de-vista de usuários.

Já no cenário V2I, a rede LTE, presente no ambiente da VANET, é utilizada para dar suporte à gerência da criação e manutenção das rotas, onde todo fluxo de vídeo é realizado através dos enlaces V2V. Ao se disponibilizar dentro de uma VANET a possibilidade dos veículos se comunicarem com uma antena LTE, por exemplo, torna-se possível e facilita-se a formação de rotas de maneira centralizada e balanceada. Porém, apesar da presença de novas tecnologias ao redor, VANETs heterogêneas ainda precisam manter a comunicação V2V em operação, visto que o V2V evitaria sobrecarga, por exemplo, para o caso onde inúmeras aplicações exigindo recursos de uma única antena LTE. Essas aplicações podem utilizar-se parcialmente dessa comunicação vertical, porém ainda aproveitando-se comunicação horizontal entre os próprios veículos, como visto nesta tese.

Na tentativa da obtenção de melhor qualidade para os vídeos, o protocolo DBRQ pode, algumas vezes, encaminhar fluxos de vídeo para nodos alternativos o que aumenta as durações das transmissões. Apesar deste fato, este acréscimo ainda é insignificante perante os requisitos impostos para transmissões de vídeo ao vivo. O mecanismo proposto nesta tese possui uma arquitetura modular e que pode ser acoplada a protocolos de roteamento estatísticos ou protocolos fim-a-fim. Da mesma forma o BRQ também pode ser usado em conjunto com esquemas de correção de erros na camada de aplicação, bastando para isso, poucas ou nenhuma modificação na sua maneira de operação. Em adição a isso, o BRQ possui um projeto independente que permite que o mesmo possa ser ativado ou desativado mesmo com o sistema em uso.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Novos trabalhos ainda deverão ser desenvolvidos mesmo após o término do período do doutorado, uma vez que muito ainda tem a se desenvolver dentro do tema de QoE sobre VANETs. Para trabalhos futuros dentro do mecanismo BRQ, será realizado um estudo com características diferentes de vídeos, por exemplo, variando o tamanho do GoP, e packetização ou nível de movimentação do vídeo. O mecanismo proposto também será modificado para ajustar dinamicamente o valor da FF para permitir um melhor desempenho quando a densidade de veículos variar.

Para trabalhos futuros dentro do tópico de disseminação de vídeos em VANETs com suporte à QoE, um trabalho com o BRQ operando em cenários multicast será rea-

lizado, onde nem todos os veículos devem ou precisam receber as sequências de vídeos. Além disso, o caso onde existam áreas vazias (*void areas*) também será tratado, de forma que, com alguma política de incentivo, os veículos possam ajudar a disseminar mais os vídeos. Isso acarretará uma maior alcançabilidade e possivelmente melhor eficácia para distribuição de vídeos de acidentes ou aviso.

No que se refere à QoE dentro de VANETs, também será buscado estudar novas relações que se desenvolveram dentro do cenário veicular, como a inserção de novas aplicações oriundas de cenários heterogêneos, por exemplo *clouds* e *cloudlets*. Estas tecnologias podem ser usadas para realizar o armazenamento, processamento remoto ou ainda centralizar a gerência das aplicações que estarão sendo servidas na rede veicular. O aparecimento destas tecnologias desencadeia novas possibilidades e serviços com melhor qualidade dentro do contexto de redes móveis em geral, e, em particular, em VANETs.

Novos modelos de comunicação dentro de VANETs, nomeadamente comunicação V2A (Vehicle-to-All), onde veículos podem se comunicar com dispositivos de diferentes naturezas e redes de acesso serão abordado futuramente. Isso permite a expansão de aplicações e a criação de múltiplas opções de acesso em VANETs. Dentro desse paradigma de comunicação, novas questões emergem, como a forma do gerenciamento de balanceamento de carga, escalabilidade, disponibilidade e recursos de cada componente da rede.

Referências Bibliográficas

- [Abdelhamid et al. 2017] Abdelhamid, S., Benkoczi, R., and Hassanein, H. S. (2017). Vehicular clouds: Ubiquitous computing on wheels. In *Emergent Computation*, pages 435–452. Springer.
- [Agarwal et al. 2016] Agarwal, Y., Jain, K., Kumar, S., and Bhardwaj, G. N. (2016). Tlst: Time of arrival based localization and smart tunnel concept in vanets. In *Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2016 3rd International Conference on*, pages 763–768. IEEE.
- [Aguiar et al. 2014] Aguiar, E., Riker, A., Cerqueira, E., Abelém, A., Mu, M., Braun, T., Curado, M., and Zeadally, S. (2014). A real-time video quality estimator for emerging wireless multimedia systems. *Wireless Networks*, pages 1–18.
- [Aloqaily et al. 2016] Aloqaily, M., Kantarci, B., and Mouftah, H. T. (2016). Multiagent/multiobjective interaction game system for service provisioning in vehicular cloud. *IEEE Access*, 4:3153–3168.
- [Amadeo et al. 2012] Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2012). Enhancing IEEE 802.11 p/wave to provide infotainment applications in vanets. *Ad Hoc Networks*, 10(2):253–269.
- [Asefi et al. 2011] Asefi, M., Céspedes, S., Shen, X., and Mark, J. W. (2011). A seamless quality-driven multi-hop data delivery scheme for video streaming in urban vanet scenarios. In *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- [Asefi et al. 2010] Asefi, M., Mark, J. W., and Shen, X. (2010). A cross-layer path selection scheme for video streaming over vehicular ad-hoc networks. In *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd*, pages 1–5. IEEE.

-
- [Asokan 2010] Asokan, R. (2010). A review of quality of service (qos) routing protocols for mobile ad hoc networks. In *Wireless Communication and Sensor Computing, 2010. ICWCSC 2010. International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Aziz et al. 2012] Aziz, H. M., Fiedler, M., Grahn, H., and Lundberg, L. (2012). Eliminating the effect of freezing frames on user perceptivity by using a time interleaving technique. *Multimedia systems*, 18(3):251–262.
- [Basso et al. 2017] Basso, M., Galanti, M., Innocenti, G., and Miceli, D. (2017). Pedestrian dead reckoning based on frequency self-synchronization and body kinematics. *IEEE Sensors Journal*, 17(2):534–545.
- [Benslimane 2004] Benslimane, A. (2004). Optimized dissemination of alarm messages in vehicular ad-hoc networks (vanet). In *high speed networks and multimedia communications*, pages 655–666. Springer.
- [Bergstra and Middelburg 2006] Bergstra, J. and Middelburg, C. (2006). The e-model, a computational model for use in transmission planning. *ITU-T Recommendation G*, 107.
- [Bitam et al. 2015] Bitam, S., Mellouk, A., and Zeadally, S. (2015). Vanet-cloud: a generic cloud computing model for vehicular ad hoc networks. *Wireless Communications, IEEE*, 22(1):96–102.
- [Bonuccelli et al. 2007] Bonuccelli, M., Giunta, G., Lonetti, F., Martelli, F., et al. (2007). Real-time video transmission in vehicular networks. In *2007 Mobile Networking for Vehicular Environments*, pages 115–120. IEEE.
- [Chandrakar et al. 2015] Chandrakar, R., Kushwaha, A., and Choubey, N. (2015). Evaluation of routing protocols aodv, dsr and dsdv to enhance video transmission over mobile ad hoc networks. In *Signal Processing And Communication Engineering Systems (SPACES), 2015 International Conference on*, pages 67–71. IEEE.
- [Charonyktakis et al. 2016] Charonyktakis, P., Plakia, M., Tsamardinos, I., and Papadopoulou, M. (2016). On user-centric modular qoe prediction for voip based on machine-learning algorithms. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15(6):1443–1456.
- [Chiti et al. 2017] Chiti, F., Fantacci, R., Giuli, D., Paganelli, F., and Rigazzi, G. (2017). Communications protocol design for 5g vehicular networks. In *5G Mobile Communications*, pages 625–649. Springer.
- [Chou et al. 2003] Chou, P. A., Wu, Y., and Jain, K. (2003). Practical network coding.

-
- [Claypool and Zhu 2003] Claypool, M. and Zhu, Y. (2003). Using interleaving to ameliorate the effects of packet loss in a video stream. In *Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*, pages 508–513. IEEE.
- [Crespi and Falk 2014] Crespi, N. and Falk, T. H. (2014). User-centric quality of experience measurement. In *Mobile Computing, Applications, and Services: 5th International Conference, MobiCase 2013, Paris, France, November 7-8, 2013, Revised Selected Papers*, volume 130, page 33. Springer.
- [Darwish and Bakar 2016] Darwish, T. and Bakar, K. A. (2016). Lightweight intersection-based traffic aware routing in urban vehicular networks. *Computer Communications*, 87:60–75.
- [De Felice et al. 2015] De Felice, M., Cerqueira, E., Melo, A., Gerla, M., Cuomo, F., and Baiocchi, A. (2015). A distributed beaconless routing protocol for real-time video dissemination in multimedia vanets. *Computer Communications*, 58:40–52.
- [Demos 2016] Demos, G. A. (2016). Interpolation of video compression frames. US Patent 9,232,232.
- [Di Felice et al. 2013] Di Felice, M., Bedogni, L., and Bononi, L. (2013). Group communication on highways: An evaluation study of geocast protocols and applications. *Ad Hoc Networks*, 11(3):818–832.
- [Dora et al. 2017] Dora, D. P., Kumar, S., and Mallik, P. (2017). On-the-fly segment density (ofsd) in adaptive beaconing system (abs) based connectivity-aware geocast routing (cagr) in vanets. In *Proceedings of the International Conference on Signal, Networks, Computing, and Systems*, pages 269–275. Springer.
- [Dorge et al. 2016] Dorge, P. D., Dorle, S. S., and Chakole, M. B. (2016). Implementation of mimo and amc techniques in wimax network based vanet system. *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)*, 8(2):60.
- [Dornbush and Joshi 2007] Dornbush, S. and Joshi, A. (2007). Streetsmart traffic: Discovering and disseminating automobile congestion using vanet’s. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th*, pages 11–15. IEEE.
- [Erdil et al. 2006] Erdil, D. C., Lewis, M. J., and Abu-Ghazaleh, N. B. (2006). Adaptive approach to information dissemination in self-organizing grids. In *International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS’06)*, pages 55–55. IEEE.

-
- [Fasolo et al. 2006] Fasolo, E., Zanella, A., and Zorzi, M. (2006). An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular ad hoc networks. In *Communications, 2006. ICC'06. IEEE International Conference on*, volume 9, pages 3960–3965. IEEE.
- [Festag 2015] Festag, A. (2015). Standards for vehicular communication - from iee 802.11 p to 5g. *e Elektrotechnik und Informationstechnik*, 132(7):409–416.
- [Fiedler et al. 2010] Fiedler, M., Hossfeld, T., and Tran-Gia, P. (2010). A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service. *Network, IEEE*, 24(2):36–41.
- [García-Campos et al. 2016] García-Campos, J., Sánchez-García, J., Reina, D., Toral, S., and Barrero, F. (2016). An evaluation methodology for reliable simulation based studies of routing protocols in vanets. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 66:139–165.
- [Gerla et al. 2014] Gerla, M., Wu, C., Pau, G., and Zhu, X. (2014). Content distribution in vanets. *Vehicular Communications*, 1(1):3–12.
- [Ghahremani and Ghanbari 2016] Ghahremani, S. and Ghanbari, M. (2016). Error resilient video transmission in ad hoc networks using layered and multiple description coding. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–17.
- [Gomes et al. 2009] Gomes, R. L., Jailton, J., Moreira, W., and Abelém, A. J. (2009). Qoe and qos in wireless mesh networks. In *Communications, 2009. LATINCOM'09. IEEE Latin-American Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Grega et al. 2008] Grega, M., Janowski, L., Leszczuk, M., Romaniak, P., and Papir, Z. (2008). Quality of experience evaluation for multimedia services - zadowanie postrzeganej jakosci (qoe) komunikacji multimedialnej. *Przegląd Telekomunikacyjny*, 81(4):142–153.
- [Gupta et al. 2015] Gupta, T., Dureja, A., and Khanna, K. (2015). Comparative survey on reliable video transmission in manet using node stabilization.
- [Hafeez et al. 2013] Hafeez, K. A., Zhao, L., Ma, B., and Mark, J. W. (2013). Performance analysis and enhancement of the dsrc for vanet's safety applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(7):3069–3083.
- [Haklay and Weber 2008] Haklay, M. and Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. *Pervasive Computing, IEEE*, 7(4):12–18.

-
- [Han et al. 2012] Han, B., Zhang, X., Qi, Y., Gao, Y., and Yang, D. (2012). Qoe model based optimization for streaming media service considering equipment and environment factors. *Wireless Personal Communications*, 66(3):595–612.
- [Harisanker and Sundaram 2015] Harisanker, M. and Sundaram, R. S. (2015). Development of a nonintrusive driver drowsiness monitoring system. In *Intelligent Computing, Communication and Devices*, pages 737–743. Springer.
- [He et al. 2016] He, J., Cai, L., Pan, J., and Cheng, P. (2016). Delay analysis and routing for two-dimensional vanets using carry-and-forward mechanism. *IEEE Transactions on Mobile Computing*.
- [Heissenbüttel et al. 2004] Heissenbüttel, M., Braun, T., Bernoulli, T., and WäLchli, M. (2004). Blr: beacon-less routing algorithm for mobile ad hoc networks. *Computer communications*, 27(11):1076–1086.
- [Ho et al. 2012] Ho, I. W.-H., Leung, K. K., and Polak, J. W. (2012). A methodology for studying vanet performance with practical vehicle distribution in urban environment. *arXiv preprint arXiv:1211.6251*.
- [Hsu et al. 2011] Hsu, C.-W., Hsu, C.-H., and Tseng, H.-R. (2011). Mac channel congestion control mechanism in ieee 802.11 p/wave vehicle networks. In *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE*, pages 1–5. IEEE.
- [Hu et al. 2015] Hu, M., Zhong, Z., and Chang, C.-Y. (2015). Mms-mvn: a multimedia multicast scheduling method for multi-hop vehicular networks. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 20(4):237–248.
- [Hudson 2016] Hudson, A. (2016). *Applicability of network coding with location based addressing over a simplified vanet model*. PhD thesis, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- [Ibáñez et al. 2011] Ibáñez, A. G., Flores, C., Reyes, P. D., Barba, A., and Reyes, A. (2011). A performance study of the 802.11 p standard for vehicular applications. In *Intelligent environments (IE), 2011 7th international conference on*, pages 165–170. IEEE.
- [Immich et al. 2013] Immich, R., Cerqueira, E., and Curado, M. (2013). Adaptive video-aware fec-based mechanism with unequal error protection scheme. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 981–988. ACM.

-
- [Immich et al. 2015] Immich, R., Cerqueira, E., and Curado, M. (2015). Adaptive qoe-driven video transmission over vehicular ad-hoc networks. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2015 IEEE Conference on*, pages 227–232. IEEE.
- [Index 2016] Index, C. V. N. (2016). Global mobile traffic forecast update.
- [Jia et al. 2014] Jia, S., Hao, S., Gu, X., and Zhang, L. (2014). Analyzing and relieving the impact of fcd traffic in lte-vanet heterogeneous network. In *Telecommunications (ICT), 2014 21st International Conference on*, pages 88–92. IEEE.
- [Katiyar et al. 2016] Katiyar, S., Patel, A., and Prasad, V. (2016). Performances evaluation of different open source dem using differential global positioning system (dgps).
- [Katsaros and Dianati 2017] Katsaros, K. and Dianati, M. (2017). A conceptual 5g vehicular networking architecture. In *5G Mobile Communications*, pages 595–623. Springer.
- [Kazui and Yamada 2016] Kazui, K. and Yamada, K. (2016). Video coding device, video coding method, video decoding device and video decoding method. US Patent App. 15/068,847.
- [Klaue et al. 2003] Klaue, J., Rathke, B., and Wolisz, A. (2003). Evalvid—a framework for video transmission and quality evaluation. In *Computer Performance Evaluation. Modelling Techniques and Tools*, pages 255–272. Springer.
- [Korkmaz et al. 2004] Korkmaz, G., Ekici, E., Özgüner, F., and Özgüner, Ü. (2004). Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pages 76–85. ACM.
- [Kühlmorgen et al. 2016] Kühlmorgen, S., Festag, A., and Fettweis, G. (2016). Impact of decentralized congestion control on contention-based forwarding in vanets. In *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2016 IEEE 17th International Symposium on A*, pages 1–7. IEEE.
- [Li and Boukerche 2015] Li, Y. and Boukerche, A. (2015). Qugu: A quality guaranteed video dissemination protocol over urban vehicular ad hoc networks. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(4):55.
- [Li et al. 2014] Li, Y., Naeimipoor, F., and Boukerche, A. (2014). Video dissemination protocols in urban vehicular ad hoc network: A performance evaluation study. In

-
- Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE*, pages 2611–2616. IEEE.
- [Lim et al. 2016] Lim, K. G., Lee, C. H., Chin, R. K. Y., Yeo, K. B., and Teo, K. T. K. (2016). Simulators for vehicular ad hoc network (vanet) development. In *Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia), IEEE International Conference on*, pages 1–4. IEEE.
- [Liu et al. 2016a] Liu, J., Wan, J., Wang, Q., Deng, P., Zhou, K., and Qiao, Y. (2016a). A survey on position-based routing for vehicular ad hoc networks. *Telecommunication Systems*, 62(1):15–30.
- [Liu et al. 2016b] Liu, Y., Liu, J., Xu, Z., and Ci, S. (2016b). Choquet integral based qos-to-qoe mapping for mobile vod applications. In *Quality of Service (IWQoS), 2016 IEEE/ACM 24th International Symposium on*, pages 1–6. IEEE.
- [Mammeri et al. 2016] Mammeri, A., Boukerche, A., and Fang, Z. (2016). Video streaming over vehicular ad hoc networks using erasure coding. *IEEE Systems Journal*, 10(2):785–796.
- [Martinez et al. 2010] Martinez, F. J., Fogue, M., Coll, M., Cano, J.-C., Calafate, C. T., and Manzoni, P. (2010). Evaluating the impact of a novel warning message dissemination scheme for vanets using real city maps. In *NETWORKING 2010*, pages 265–276. Springer.
- [Matos et al. 2012] Matos, R., Coutinho, N., Marques, C., Sargento, S., Chakareski, J., and Kessler, A. (2012). Quality of experience-based routing in multi-service wireless mesh networks. In *Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on*, pages 7060–7065. IEEE.
- [Mezghani et al. 2014] Mezghani, F., Dhaou, R., Nogueira, M., and Beylot, A.-L. (2014). Content dissemination in vehicular social networks: taxonomy and user satisfaction. *Communications Magazine, IEEE*, 52(12):34–40.
- [Mishra et al. 2016] Mishra, P., Raina, S. K., and Singh, B. (2016). Effective fuzzy-based location-aware routing with adjusting transmission range in manet. *International Journal of Systems, Control and Communications*, 7(4):360–379.
- [Mohammed et al. 2009] Mohammed, A., Ould-Khaoua, M., Mackenzie, L. M., and Abdulai, J.-d. (2009). Dynamic probabilistic counter-based broadcasting in mobile ad hoc networks. In *Adaptive Science & Technology, 2009. ICAST 2009. 2nd International Conference on*, pages 120–127. IEEE.

-
- [Mushtaq et al. 2012] Mushtaq, M. S., Augustin, B., and Mellouk, A. (2012). Empirical study based on machine learning approach to assess the qos/qoe correlation. In *Networks and Optical Communications (NOC), 2012 17th European Conference on*, pages 1–7. IEEE.
- [Nadeem et al. 2006] Nadeem, T., Shankar, P., and Iftode, L. (2006). A comparative study of data dissemination models for vanets. In *Mobile and Ubiquitous Systems-Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on*, pages 1–10. IEEE.
- [Nam et al. 2016] Nam, H., Kim, K.-H., and Schulzrinne, H. (2016). Qoe matters more than qos: Why people stop watching cat videos. *INFOCOM, 2016 (to appear)*.
- [Nekovee and Bogason 2007] Nekovee, M. and Bogason, B. B. (2007). Reliable and efficient information dissemination in intermittently connected vehicular adhoc networks. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th*, pages 2486–2490. IEEE.
- [Nzouonta et al. 2009] Nzouonta, J., Rajgure, N., Wang, G., and Borcea, C. (2009). Vanet routing on city roads using real-time vehicular traffic information. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 58(7):3609–3626.
- [Obayiuwana and Falowo 2016] Obayiuwana, E. and Falowo, O. E. (2016). Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms: a review. *Wireless Networks*, pages 1–33.
- [Ou et al. 2015] Ou, S., Lei, L., Zheng, K., and Li, Y. (2015). Stochastic delay analysis of an architecture integrating vanet with lte networks. In *Computing, Networking and Communications (ICNC), 2015 International Conference on*, pages 298–302. IEEE.
- [Pasha 2016] Pasha, M. (2016). A review of iee 802.11 p (wave) multi-channel mac schemes. *Journal of Wireless Sensor Network*, 4.
- [Pavlidis 2017] Pavlidis, G. (2017). Compression optimization. In *Mixed Raster Content*, pages 261–299. Springer.
- [Qadri et al. 2009] Qadri, N., Fleury, M., Altaf, M., Rofoee, B., and Ghanbari, M. (2009). Resilient p2p multimedia exchange in a vanet. In *Wireless Days (WD), 2009 2nd IFIP*, pages 1–6. IEEE.
- [Quadros et al. 2014] Quadros, C., Cerqueira, E., Santos, A., and Gerla, M. (2014). A multi-flow-driven mechanism to support live video streaming on vanets. In *Computer*

-
- Networks and Distributed Systems (SBRC), 2014 Brazilian Symposium on*, pages 468–476. IEEE.
- [Quadros et al. 2015a] Quadros, C., Cerqueira, E., Santos, A., Lim, J., and Gerla, M. (2015a). Beacon-less video streaming management for vanets based on qoe and link-quality. In *Integrated Network Management (IM), 2015 IFIP/IEEE International Symposium on*, pages 191–198. IEEE.
- [Quadros et al. 2016] Quadros, C., Santos, A., Gerla, M., and Cerqueira, E. (2016). Qoe-driven dissemination of real-time videos over vehicular networks. *Computer Communications*, 91:133–147.
- [Quadros et al. 2015b] Quadros, C., Santos, A., Gerla, M., and Cerqueira, E. (2015b). A qoe-aware mechanism to improve the dissemination of live videos over vanets. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 Brazilian Symposium on*, pages 421–435. IEEE.
- [Rameau et al. 2016] Rameau, F., Ha, H., Joo, K., Choi, J., Park, K., and Kweon, I. S. (2016). A real-time augmented reality system to see-through cars. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(11):2395–2404.
- [Ratwani and Shah 2015] Ratwani, V. and Shah, A. (2015). Network coding and cross-layer approach for reliability and optimization of routing in vanet: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 113(13).
- [Rezende et al. 2015a] Rezende, C., Boukerche, A., Almulla, M., and Loureiro, A. A. (2015a). The selective use of redundancy for video streaming over vehicular ad hoc networks. *Computer Networks*, 81:43–62.
- [Rezende et al. 2015b] Rezende, C., Boukerche, A., Ramos, H. S., Loureiro, A., et al. (2015b). A reactive and scalable unicast solution for video streaming over vanets. *Computers, IEEE Transactions on*, 64(3):614–626.
- [Rezende et al. 2014] Rezende, C., Mammeri, A., Boukerche, A., and Loureiro, A. A. (2014). A receiver-based video dissemination solution for vehicular networks with content transmissions decoupled from relay node selection. *Ad Hoc Networks*, 17:1–17.
- [Rosário et al. 2014] Rosário, D., Zhao, Z., Santos, A., Braun, T., and Cerqueira, E. (2014). A beaconless opportunistic routing based on a cross-layer approach for efficient video dissemination in mobile multimedia iot applications. *Computer Communications*, 45:21–31.

-
- [Salvo et al. 2016] Salvo, P., Turcanu, I., Cuomo, F., and Baiocchi, A. (2016). Lte floating car data application off-loading via vanet driven clustering formation. In *12th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, pages 1–8. IEEE.
- [Seeling and Reisslein 2012] Seeling, P. and Reisslein, M. (2012). Video transport evaluation with H.264 video traces. *IEEE Communications Surveys and Tutorials, in print*, 14(4):1142–1165. Traces available at trace.eas.asu.edu.
- [Seufert et al. 2016] Seufert, M., Casas, P., Wamser, F., Wehner, N., Schatz, R., and Tran-Gia, P. (2016). Application-layer monitoring of qoe parameters for mobile youtube video streaming in the field. In *Communications and Electronics (ICCE), 2016 IEEE Sixth International Conference on*, pages 411–416. IEEE.
- [Sherry et al. 2015] Sherry, J., Lan, C., Popa, R. A., and Ratnasamy, S. (2015). Blind-box: Deep packet inspection over encrypted traffic. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 45, pages 213–226. ACM.
- [Slavik and Mahgoub 2013] Slavik, M. and Mahgoub, I. (2013). Spatial distribution and channel quality adaptive protocol for multihop wireless broadcast routing in vanet. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 12(4):722–734.
- [Slavik et al. 2015] Slavik, M., Mahgoub, I., and Alwakeel, M. (2015). Efficient multi-hop wireless broadcast protocol in vehicular networks using automated threshold function design. *International Journal of Communication Systems*, 28(12):1829–1846.
- [Slavik et al. 2014] Slavik, M., Mahgoub, I., and Alwakeel, M. M. (2014). Analysis and evaluation of distance-to-mean broadcast method for vanet. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 26(1):153–160.
- [Soldo et al. 2011] Soldo, F., Casetti, C., Chiasserini, C.-F., and Chaparro, P. A. (2011). Video streaming distribution in vanets. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 22(7):1085–1091.
- [Stanica et al. 2011] Stanica, R., Chaput, E., and Beylot, A.-L. (2011). Enhancements of ieee 802.11 p protocol for access control on a vanet control channel. In *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- [Szigeti and Hattingh 2005] Szigeti, T. and Hattingh, C. (2005). *End-to-end qos network design*. Cisco press.
- [Tanu 2015] Tanu, J. V. (2015). A review of various broadcasting protocols in vanet.

-
- [Tao et al. 2008] Tao, S., Apostolopoulos, J., and Guérin, R. (2008). Real-time monitoring of video quality in IP networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 16(5):1052–1065.
- [Tonguz et al. 2007] Tonguz, Z., Wisitpongphan, N., Bai, F., Mudalige, P., and Sadekar, V. (2007). Broadcasting in vanet. In *2007 mobile networking for vehicular environments*, pages 7–12. IEEE.
- [Torres et al. 2015] Torres, A., Calafate, C. T., Cano, J.-C., Manzoni, P., and Ji, Y. (2015). Evaluation of flooding schemes for real-time video transmission in vanets. *Ad Hoc Networks*, 24:3–20.
- [Ucar et al. 2016] Ucar, S., Ergen, S. C., and Ozkasap, O. (2016). Multihop-cluster-based IEEE 802.11 p and LTE hybrid architecture for vanet safety message dissemination. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(4):2621–2636.
- [Vatolin et al. 2009] Vatolin, D., Moskvin, A., Petrov, O., and Trunichkin, N. (2009). Msu video quality measurement tool.
- [VEMOS 2014] VEMOS, G. (2014). VEMOS application Vs. 4.0. URL <http://gercom.ufpa.br/downloads/multimedia>.
- [Video Sequences 2016] Video Sequences, N. R. L. (2016). Videos used in the simulations ('truck accident') < URL <https://www.youtube.com/channel/UCUIJSLvBpeJbLAr6IsVXbJA/videos>>.
- [Wang et al. 2014] Wang, R., Almulla, M., Rezende, C., and Boukerche, A. (2014). Video streaming over vehicular networks by a multiple path solution with error correction. In *Communications (ICC), 2014 IEEE International Conference on*, pages 580–585. IEEE.
- [Wang et al. 2012] Wang, R., Rezende, C., Ramos, H. S., Pazzi, R. W., Boukerche, A., and Loureiro, A. A. (2012). Liaithon: A location-aware multipath video streaming scheme for urban vehicular networks. In *Computers and Communications (ISCC), 2012 IEEE Symposium on*, pages 000436–000441. IEEE.
- [Wang et al. 2017] Wang, X., Zhao, S., and Dong, L. (2017). Research and application of traffic visualization based on vehicle GPS big data. In *Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Transportation*, pages 293–302. Springer.

-
- [Wisitpongphan et al. 2007] Wisitpongphan, N., Bai, F., Mudalige, P., and Tonguz, O. K. (2007). On the routing problem in disconnected vehicular ad-hoc networks. In *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE*, pages 2291–2295. IEEE.
- [Wu et al. 2015] Wu, X., Li, J., Scopigno, R. M., and Cozzetti, H. A. (2015). Insights into possible vanet 2.0 directions. In *Vehicular ad hoc Networks*, pages 411–455. Springer.
- [Xie et al. 2007] Xie, F., Hua, K., Wang, W., Ho, Y. H., et al. (2007). Performance study of live video streaming over highway vehicular ad hoc networks. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, pages 2121–2125. IEEE.
- [Yang et al. 2014] Yang, S., He, R., Wang, Y., Li, S., and Lin, B. (2014). Opnet-based modeling and simulations on routing protocols in vanets with ieee 802.11 p. In *Systems and Informatics (ICSAI), 2014 2nd International Conference on*, pages 536–541. IEEE.
- [Yang et al. 2010] Yang, Z., Li, M., and Lou, W. (2010). Codeplay: Live multimedia streaming in vanets using symbol-level network coding. In *Network Protocols (ICNP), 2010 18th IEEE International Conference on*, pages 223–232. IEEE.
- [Yao et al. 2014] Yao, X.-W., Wang, W.-L., Yang, S.-H., Cen, Y.-F., Yao, X.-M., and Pan, T.-Q. (2014). Ipb-frame adaptive mapping mechanism for video transmission over ieee 802.11 e wlans. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(2):5–12.
- [Yongmei et al. 2017] Yongmei, S., Fuzhang, W., and Yishun, Z. (2017). Vehicle positioning method of modern tram based on tetra communication system. In *Information Technology and Intelligent Transportation Systems: Volume 1, Proceedings of the 20 International Conference on Information Technology and Intelligent Transportation Systems ITITS 2017, held December 12-13, 2017, Xian China*, pages 147–154. Springer.
- [Zaimi et al. 2016] Zaimi, I., Houssaini, Z. S., Boushaba, A., Oumsis, M., and Aboutajdine, D. (2016). Vehicular ad-hoc network: Evaluation of qos and qoe for multimedia application. In *International Conference on Networked Systems*, pages 367–371. Springer.
- [Zhang et al. 2016] Zhang, B., Liu, Z., Chan, S.-H. G., and Cheung, G. (2016). Collaborative wireless freeview video streaming with network coding. *IEEE Transactions on Multimedia*, 18(3):521–536.
- [Zhao et al. 2007] Zhao, J., Zhang, Y., and Cao, G. (2007). Data pouring and buffering on the road: A new data dissemination paradigm for vehicular ad hoc networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 56(6):3266–3277.

[Zong et al. 2016] Zong, F., Yuan, Y., Liu, J., Bai, Y., and He, Y. (2016). Identifying travel mode with gps data. *Transportation Planning and Technology*, pages 1–14.