

Comunicação Veículo para Veículo



Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Comunicação Veículo para Veículo

Margarida do Carmo Mendes Barradas

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:
Doutor Américo Manuel Carapeto Correia, Professor Catedrático,
ISCTE-IUL

Junho, 2017

Agradecimentos

Ao meu coordenador da dissertação Professor Doutor Américo Correia, agradeço a oportunidade de poder ter trabalhado com o próprio, a disponibilidade e orientação ao longo de todas as etapas, que culminaram na finalização desta dissertação.

Aos meus pais, Fernanda Barradas e Diamantino Barradas, agradeço todos os sacrifícios, incentivo e entrega que tiveram ao longo das suas vidas, para que eu conseguisse chegar até aqui. Agradeço também por todos os ensinamentos de vida que me inculcaram, espero algum dia conseguir retribuir. Um enorme obrigado, a conquista desta etapa não é apenas minha, mas nossa. A eles dedico todo este trabalho.

Ao meu namorado, João Morim, expesso um profundo agradecimento pelo apoio incondicional, motivação e entreaajuda em todas as horas.

Ao meu irmão e à minha cunhada, Miguel Barradas e Ana Silva, agradeço por todos os momentos de distração e incentivo que me proporcionaram ao longo destes meses.

Aos meus avós, Francisca Fusco, Maria Barradas e João Barradas, agradeço o facto de nunca terem desistido de acreditar em mim e nas minhas capacidades, obrigada pelas palavras de carinho e pela força demonstrada ao longo desta etapa. Eles mostraram-me que é na simplicidade das palavras que muitas vezes se encontra a motivação para chegar mais além.

Agradeço a todos os docentes que fazem parte do Mestrado em Telecomunicações e Informática pela partilha de conhecimentos, que permitiu a aquisição de competências importantes que me auxiliarão no meu percurso profissional.

Abstract

The current thesis firstly considers the concepts related with the evolution of wireless communication systems in vehicular networks (VANETs), and in couple to this evolution, the ITS (Intelligent Transport Systems), whose purpose is the standardization of IEEE802.11p WAVE. Following, two reliable wireless communication standards, IEEE801.11p and LTE, are evaluated, and their joint use can support the communication requirements in vehicular networks by introducing the concept HetVNET (heterogeneous vehicular networks).

Autonomous driving was then explored because it was a promising technology to reduce road traffic accidents, traffic congestion and it is believed that autonomous vehicles would be on the market by 2020. Some controversies were also presented in the field of safety, health, legislation and ethics.

Finally, three typical scenarios of autonomous driving in the city of Lisbon were studied in detail, including two scenarios of Urban highway and Urban Intersection.

Some features were evaluated, such as the need to introduce new sensors in the highway, new base stations along the highway and new bands of the frequency spectrum are needed to allow the flow to the cloud of all the data generated by the autonomous cars. From the study carried out, was verified that the base stations should be positioned in the road of 400 in 400 meters, to guarantee the existence of an overlap zone where the handovers are performed, demonstrating the applicability of autonomous driving, in a big city, such as Lisbon, in a highway and in an intersection.

Keywords: VANET (Vehicular Ad-Hoc Network), ITS (Intelligent Transport System), Vehicular Safety, Autonomous driving

Resumo

A presente dissertação, apresenta primeiramente os conceitos relacionados com a evolução dos sistemas de comunicação sem fios em redes veiculares (VANETs), e aliado a esta evolução, os ITS (Sistemas de Transporte Inteligente), que têm como finalidade a normalização das IEEE802.11p WAVE. Em seguida, avaliam-se duas normas de comunicação sem fios fiáveis, IEEE801.11p e o LTE, verificando-se que a sua utilização conjunta permite suportar os requisitos de comunicação em redes veiculares, introduzindo-se o conceito HetVNET (redes veiculares heterogéneas).

Explorou-se também a condução autónoma, por esta ser considerada uma tecnologia promissora na redução de acidentes rodoviários, congestionamento do tráfego e por se acreditar que os veículos de condução autónoma estarão no mercado até 2020. Foram também apresentadas algumas controvérsias, no âmbito da segurança, saúde, legislação e ética.

Por fim, estudou-se em pormenor três cenários típicos de condução autónoma na cidade de Lisboa, incluindo-se dois cenários de Via Rápida Urbana e um de Interseção Urbana.

Foram avaliados alguns aspetos, tais como a necessidade de introdução de novos sensores ao longo do troço de uma via rápida, de novas estações de base ao longo das vias e de novas faixas do espetro de frequência para escoar para a nuvem todos os dados gerados pelos automóveis autónomos. Do estudo efetuado, verificou-se que as estações de base devem ser colocadas na via de 400 em 400 metros, para se garantir a existência de uma zona de sobreposição onde se realizam os *handovers*, tendo-se demonstrando a aplicabilidade da condução autónoma, numa grande cidade, como Lisboa, tanto num cenário de uma via rápida como numa zona de interseção.

Palavras Chave: VANET (Rede Veicular Ad-hoc), ITS (Sistemas de Transporte Inteligente), Segurança Veicular, Condução Autónoma, HetVNET (redes veiculares heterogéneas).

Índice

Agradecimentos	iii
Abstract	v
Resumo	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas	xv
Capítulo 1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento Geral e Motivações	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização da Tese.....	4
Capítulo 2 Redes Veiculares	5
2.1 Definição e Contextualização	5
2.2 Características e Aplicações em VANETs.....	7
2.3 Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)	8
2.3.1 Norma IEEE802.11p.....	9
2.3.2 Aplicações em Veículos e Novas Tecnologias	12
2.4 Redes Veiculares Heterogéneas (HetVNET).....	17
Capítulo 3 Condução Autónoma.....	23
3.1 Origem da Condução Autónoma	23
3.2 Módulos Essenciais para a Condução Autónoma	25
3.3 Nuvem Computorizada	30
3.4 Perspetivas Futuras	33
Capítulo 4 Descrição e Especificação dos Cenários	41
4.1 Largura de Banda em Condução Autónoma	43
4.2 Cálculo da Distância entre o Móvel e a eNB	44
4.3 Cenários de Via Rápida Urbana	47
4.3.1 Informação Geral	47
4.3.2 Caracterização do Tráfego	48
4.3.3 Arquitetura de Rede Veicular.....	50

4.4 Cenário de Interseção Urbana	57
4.4.1 Informação Geral	57
4.4.2 Caracterização do Tráfego	57
4.4.3 Arquitetura de Rede Veicular	58
Capítulo 5 Conclusões	61
5.1 Trabalho Desenvolvido e Conclusões finais	61
5.2 Trabalhos Futuros	63
Bibliografia	65
Anexos	71
Anexo A - Arquitetura da norma IEEE802.11	71
Anexo B - Arquitetura da norma IEEE802.11WAVE	73
Anexo C - Características Antena Amphenol	77

Lista de Figuras

FIGURA 1: ORGANIZAÇÕES CONSOANTE O MAPA GEOGRÁFICO.....	3
FIGURA 2: ESTRUTURA DO DOCUMENTO	4
FIGURA 3: TIPOS DE COMUNICAÇÃO EM VANETS (ADAPTADA DE [8])	6
FIGURA 4: TOPOLOGIA DA REDE A) AD-HOC B) INFRAESTRUTURADA C) HÍBRIDA (ADAPTADA DE [4])	6
FIGURA 5: ARQUITETURA DA CAMADA MAC E PHY DA NORMA IEEE802.11 (ADAPTADA DE [7]).....	9
FIGURA 6: ATRIBUIÇÃO DO ESPETRO PARA APLICAÇÕES DSRC (ADAPTADA DE [12])	10
FIGURA 7: ESTRUTURA DAS REDES HETVNET (ADAPTADA DE [15])	18
FIGURA 8: VIRTUALIZAÇÃO NUMA REDE (ADAPTADA DE [19])	19
FIGURA 9: MÓDULOS TÍPICOS PARA A CONDUÇÃO AUTÓNOMA (ADAPTADA DE [27])	26
FIGURA 10: TIPOS DE COMUNICAÇÃO V2X (ADAPTADA DE [28])	28
FIGURA 11: CENÁRIO DE CONDUÇÃO AUTÓNOMA COOPERATIVA (ADAPTADA DE [26]).....	30
FIGURA 12: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA CONDUÇÃO AUTÓNOMA (ADAPTADA DE [37])	33
FIGURA 13: LOCALIZAÇÃO DOS CENÁRIOS: LOCAL 1 – VIA RÁPIDA URBANA (2º CIRCULAR); LOCAL 2 – INTERSEÇÃO URBANA (CRUZAMENTO QUE INTERLIGA AS AVENIDAS PROF. GAMA PINTO, ÁLVARO PAIS E FORÇAS ARMADAS).....	41
FIGURA 14: LOCALIZAÇÃO DOS NÓS: NÓ A- AZ. GALHARDAS/ CAMPO GRANDE; NÓ B – CAMPO GRANDE ...	42
FIGURA 15 : DISTÂNCIA ENTE VEÍCULO E A ESTAÇÃO DE BASE.	47
FIGURA 16: A) DIAGRAMA DE CARGAS NA REDE EM TRÁFEGO MÉDIO DIÁRIO ANUAL (TMDA - TOTAL DE VEÍCULOS); B) TMDA POR SUBLANÇO DA 2ª CIRCULAR (RETIRADA DE [49])	49
FIGURA 17: IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS CRÍTICOS NA 2ª CIRCULAR (RETIRADA DE [49])	50
FIGURA 18: A) REPRESENTAÇÃO DAS ANTENAS E CÂMARA DE VIDEOVIGILÂNCIA; B) CENÁRIO 1: VIA RÁPIDA URBANA EM FLUXO LIVRE (ADAPTADA DE [26])	54
FIGURA 19: CENÁRIO 2: VIA RÁPIDA URBANA EM FLUXO SINCRONIZADO (ADAPTADA DE [26]).....	56
FIGURA 20: CENÁRIO 3: INTERSEÇÃO URBANA (ADAPTADA DE [26]).....	59
FIGURA 21: ARQUITETURA DA NORMA IEEE802.11	72
FIGURA 22: PROTOCOLOS STANDARD IEEE (ADAPTADA DE [7])	74
FIGURA 23: PROTOCOLOS ITS NA EUROPA (ADAPTADA DE [11]).....	75
FIGURA 24: ARQUITETURA DO PROTOCOLO ARIB STD-T109 (RETIRADA DE [7])	76

Lista de Tabelas

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES REGIÕES, EM TERMOS DE FREQUÊNCIAS, CAMADAS E DADOS (ADAPTADA DE [7])	12
TABELA 2: CARACTERÍSTICAS DAS APLICAÇÕES RELACIONADAS E NÃO RELACIONADAS COM SEGURANÇA E CASOS DE USO (ADAPTADA DE [8] E [15]).....	13
TABELA 3: PRINCIPAIS TECNOLOGIAS SEM FIOS PARA COMUNICAÇÃO VEICULAR (ADAPTADA DE [16])	15
TABELA 4: VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS RELATIVAMENTE AOS MODOS DE COMUNICAÇÃO (ADAPTADA DE [15])	20
TABELA 5: TIPO DE MENSAGENS DE CONTROLO AUTÔNOMO (ADAPTADA DE [26])	27
TABELA 6 : CQI E RESPETIVAS MODULAÇÕES, TAMANHOS DE BLOCO E EFICIÊNCIA ESPECTRAL (DADOS EXTRAÍDOS DE [50]).....	43
TABELA 7: CARACTERÍSTICAS DA ANTENA UTILIZADA (ADAPTADA DE [51])	45

Lista de Abreviaturas

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

ADV: Autonomous driving vehicle

ADC: Autonomous driving control

ADCM: Autonomous driving control Message

AIFS: Arbitration Inter-Frame Space

AP: Access Point

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses

ARIB-STD: Association of Radio Industries and Businesses Standard

ASTM: American Society for Testing and Materials

ATM: Action-triggered Message

BSA: Basic Service Area

BSS: Basic Service Set

BSSID: Basic Service Set Identification

BSMS: Basic Messages

CAM: Cooperative Awareness Messages

CAN: Control Area Network

CCH: Control Channel

CEN: European Committee for Standardization

CEO: Chief Executive Officer

CN: Core Network

CQI: Channel Quality Indicator

CSMA: Carrier sense multiple access

CSMA/CA: Carrier sense multiple access with collision avoidance

CTO: Chief Technology Officer

C-V2X: Cellular Vehicle-to-Everything

DCF: Distributed Coordination Function

DENM: Decentralized Environmental Notification Messages

DS: Distributed Systems

DSRC: Dedicated Short Range Communications

D2D: Device-to-device

ECDSA: Elliptic Curve Digital Signature Algorithm

EDCA: Enhanced distributed channel access

eMBMS: Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services

eNB: E-UTRAN Node B

EPP: Project *EUREKA Prometheus*

ESS: Extended Service Set

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

FCC: Federal Communications Commission

GPS: Global Positioning System

HetVNET: Heterogeneous Vehicular Networking

HLL: Heterogeneous Link Layer

HMI: Interface Homem Máquina

HPM: Hora de Ponta da Manhã

HPT: Hora de Ponta da Tarde

IBSS: Independent Basic Service Set

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP: Internet Protocol

IPV6: Internet Protocol version 6

ISO: International Organization for Standardization

ITS: Info-Communications Forum

ITS: Intelligent Transport System

LIDAR: Light Detection and Ranging

LLC: Logical Link Control

LTE: Long Term Evolution

LTE- A: Long Term Evolution Advanced

LAN: Local Area Network

MAC: Media Access Control

MBMS: Multimedia Broadcast Multicast Services

MANET: Mobile Ad-Hoc Network

MCS: Modulation Coding Scheme

NHTS: National Highway Traffic Safety

NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration

OBU: On-board unit

OFDM: Orthogonal frequency-division multiplexing

OSI: Open System Interconnection

PHY: Physical layer

PSM: Periodic State Message

QAM: Quadrature Amplitude Modulador

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keyed

RADAR: Radio Detection and Ranging

RAN: Radio Access Network

RC: Remote cloud

RSA: Rivest-Shamir-Adleman

RSU: Road-side unit

SAE: Society of Automotive Engineers

SC: Service Center

SCH: Service Channel

SSID: Service Set Identification

STA: Wireless LAN Stations

TCP: Transmission Control Protocol

TDMA: Time Division Multiple Access

TMDA: Tráfego Médio Diário Anual

TMEL: Tsukuba Mechanical Engineering Lab

UDP: User Datagram Protocol

V2B: Vehicle-to-Base Station

V2F: Vehicle-to-Facility

V2I: Vehicle-to-infrastructure

V2N: Vehicle-to-network

V2P: Vehicle-to- pedestrian

V2V: Vehicle-to-vehicle

V2X: Vehicle-to-everything

VANET: Vehicular Ad-Hoc Network

VCC: Vehicular cloud computing

VoIP: Voice Over Internet Protocol

VSC: Vehicular Security Communication

WAVE: Wireless Access in the Vehicular Environment

WAN: Wireless Access Network

WBSS: WAVE Basic Service Set

WSMP: WAVE Short Message Protocol

WLAN: Wireless Local Area Network

WI-FI: Wireless Fidelity

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento Geral e Motivações

O desenvolvimento dos Sistemas de Transporte Inteligente ITS (*Intelligent Transport System*) encontra-se aliado ao crescimento exponencial das redes veiculares.

O estudo acerca deste tipo de redes ganhou especial notoriedade entre pesquisadores do meio académico e da indústria automóvel nos vários recantos do mundo, tais como Estados Unidos da América, União Europeia e Japão. O interesse revelou-se fulcral na medida em que estas redes oferecem um aumento da segurança veicular, eficiência do tráfego, bem como a redução do impacto dos transportes no meio ambiente [1].

As redes veiculares VANETs (*Vehicular Ad-Hoc Network*), são consideradas como um subconjunto das redes *ad-hoc*, denominadas de *Mobile ad-hoc Network* - MANETs. Uma MANET é uma rede sem infraestrutura fixa e auto configurável, de nós móveis acoplados através da comunicação sem fios. Quando os nós móveis que fazem parte das MANETs são substituídos por veículos e passam a navegar por trajetos fixos, como estradas, a rede torna-se Rede *ad-hoc* Veicular (VANET). As principais características que diferenciam as VANETs destas redes *ad-hoc* é o facto de em qualquer momento do tempo, a mobilidade e a velocidade média dos nós ser bastante elevada, causando uma mudança rápida na topologia da rede [2].

O termo VANET, tal como podemos constatar pelas premissas anteriores, foi originalmente adotado para refletir o carácter *ad-hoc* das redes altamente dinâmicas, ou seja, redes formadas sem necessidade de infraestruturas. Apesar de não se limitar às VANETs, o termo rede *ad-hoc* tem sido amplamente associado à pesquisa de redes veiculares, o que tem estado a originar um debate entre investigadores [3], para a redefinição deste acrónimo. No entanto, como ainda não se alcançou nenhum consenso, continuaremos a referir-nos às VANETs como a partilha de informações entre veículos, não apenas na comunicação veículo-para-veículo V2V (*Vehicle-to-vehicle*), mas também numa comunicação de veículo-para-infraestrutura V2I (*Vehicle-to-infrastructure*) [3].

Devido à rápida mudança de topologia, não se pode considerar que exista uma arquitetura/topologia estanque que deva ser seguida [4]. Nestas redes, os veículos encontram-se equipados com avançados dispositivos de comunicação sem fios designados de unidades de bordo OBUs (*On-board unit*), enquanto as infraestruturas localizadas ao longo da faixa de rodagem são denominadas de unidades de acostamento RSU (*Road-side unit*) [5].

Num sentido lato, podemos definir três topologias possíveis para a comunicação veicular. Uma possibilidade é que todos os veículos comuniquem uns com os outros através de alguns RSUs, esta arquitetura pode assemelhar-se a redes locais sem fios (*WLAN*). Outra possibilidade é o facto de os

veículos poderem comunicar diretamente uns com os outros sem necessidade de RSUs, esta arquitetura é denominada de *ad-hoc*. Na terceira possibilidade, alguns veículos podem comunicar diretamente entre si, enquanto outros podem precisar de RSUs para se comunicarem, arquitetura designada de híbrida. A compreensão da arquitetura de rede é importante para mostrar o pleno potencial das comunicações veiculares.

A maioria dos pesquisadores [24, 25] citado em [4] baseou-se nos estudos das VANETs para a divisão por três cenários, nomeadamente, cenário urbano, rural e autoestrada. Esta divisão é fundamental, visto que cada ambiente tem os seus próprios desafios específicos a superar [4].

Os sistemas de transporte Inteligente (ITS) emergem como a tecnologia que permite gerir de forma eficiente as informações na estrada, capaz de oferecer aos motoristas uma variedade de serviços adicionais como a condução segura, eficiente e inteligente, tornando as nossas estradas não só numa plataforma de transporte, mas também de comunicação [6].

O ITS é um termo que se encontra em desenvolvimento desde a década de 90, sendo utilizado por diferentes organizações regionais em todo o mundo para definir uma norma que visa oferecer serviços inovadores relacionados com diferentes modos de transporte e gestão do tráfego. O objetivo é automatizar as interações entre veículos e infraestruturas localizadas ao redor da estrada com vista a alcançar altos níveis de segurança, conforto e eficiência.

A maior parte da abordagem tecnológica é muito semelhante e alguns trabalhos cooperativos visam a compatibilidade mundial, no entanto as diferenças tecnológicas e as decisões de implementação devem ser consideradas principalmente devido a restrições regulamentares, tais como a atribuição do espetro e a utilização de diferentes camadas superiores que são diferentes consoante a região.

As atividades de normalização foram desenvolvidas pelas organizações: IEEE¹ e SAE² sediadas nos EUA, CEN³ e ETSI⁴ sediadas na Europa, ITS⁵ e ARIB⁶ sediadas no Japão e ISO⁷ por todo o mundo, como ilustradas no mapa geográfico da Figura 1 [7].

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers

² Society of Automotive Engineers

³ European Committee for Standardization

⁴ European Telecommunications Standards Institute

⁵ Info-Communications Forum

⁶ Association for Radio Industry and Business

⁷ International Organization for Standardization



Figura 1: Organizações consoante o mapa geográfico

A motivação para a realização desta dissertação considera a importância das comunicações veículo para veículo e veículo para infraestrutura, na redução da sinistralidade rodoviária e melhoria da gestão dos combustíveis (reduzindo desta forma o impacto ambiental). É fundamental que se desenvolvam novos estudos, em áreas que envolvam as VANETs, os ITS e a Condução Autónoma na indústria automóvel, ao nível tecnológico, de segurança e de ética. Foi com este objetivo, que se selecionou o tema “Comunicação Veículo para Veículo”, que foi estudado por forma a compreender como é que os sistemas de comunicação “inteligentes” podem contribuir para a melhoria da segurança rodoviária, eficiência do tráfego e redução da sinistralidade.

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho, que se descreve na presente proposta de tese, é a conceção e implementação de uma arquitetura de rede veicular destinada a ambiente urbano com diferentes fluxos de tráfego.

Pretende-se assim estudar soluções na área das redes veiculares e condução autónoma que permitam aumentar a segurança dos veículos. Desta forma ir-se-á caracterizar o cenário de utilização deste tipo de redes na circulação automóvel, nomeadamente nas cidades, em vias rápidas e cruzamentos, bem como as implicações destes cenários na arquitetura e em outras escolhas que serão tomadas. Avaliar também as necessidades em termos de espectro e infraestrutura que a condução automática generalizada implicará na cidade de Lisboa.

Pretende-se que tal rede seja suficientemente flexível para permitir a aquisição e difusão de dados em tempo real dos sistemas de transporte em cenários urbanos. Os objetivos definidos foram:

- Identificar o potencial de desenvolvimento das VANETs, ITS e as diferentes aplicações práticas de uma rede V2V e V2I (como por exemplo planeamento de rotas, deteção de colisões, resolução de congestionamentos, etc);

- Estudar as tecnologias que viabilizam a aquisição e difusão de dados em tempo real numa rede de veículos em ambiente urbano;
- Especificar as redes heterogêneas e mecanismos de condução autónoma que seriam necessárias implementar nas zonas urbanas;
- Definir e estudar cenários de teste, utilizando o conceito de condução autónoma em locais definidos na cidade de Lisboa.
- Determinar a largura de banda mínima para a existência de condução autónoma e o cálculo da distância entre o móvel e a estação de base utilizando a atual tecnologia LTE-A.

1.3 Organização da Tese

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo os três primeiros considerados capítulos introdutórios e/ou descritivos, o quarto aborda a descrição e especificação dos cenários e a avaliação das necessidades em termos de espectro e infraestrutura que a condução automática exigirá na cidade de Lisboa. O quinto consiste na conclusão do trabalho realizado.

Este documento está organizado da seguinte forma (Figura 2): Neste capítulo I, apresenta-se o enquadramento do tema, a sua importância e as motivações para a realização deste trabalho, bem como os seus objetivos e termina-se com a descrição da estrutura do documento.

No capítulo II é realizado o estudo acerca das redes veiculares, e serão apresentados alguns conceitos teóricos necessários para uma melhor perceção do problema abordado nesta dissertação.

O capítulo III, apresenta os conceitos relativos à condução autónoma, terminando-se com uma reflexão sobre as perspetivas legais, éticas e de segurança.

Quanto ao capítulo IV, este descreve e especifica os cenários em estudo, selecionados na cidade de Lisboa, obtém-se a largura de banda mínima para a condução autónoma e analisa-se o cálculo da distância ente o terminal móvel e a estação de base.

O capítulo V apresenta a discussão e as conclusões acerca do estudo realizado, bem como oportunidades de trabalho futuro relacionadas com o tema abordado.

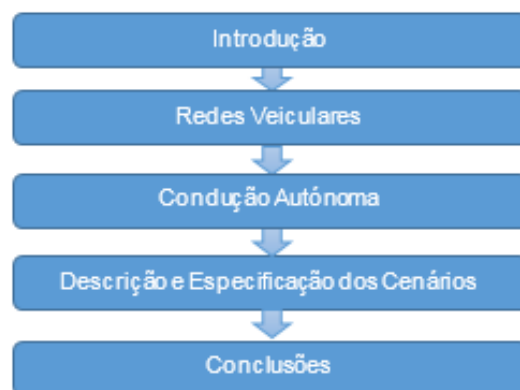


Figura 2: Estrutura do documento

Capítulo 2

Redes Veiculares

2.1 Definição e Contextualização

Cada dispositivo na rede veicular, seja ele veículo ou infraestrutura, é considerado um componente principal da rede, designado por nó. Caracteristicamente existem dois tipos de comunicações em VANETs, a comunicação entre veículos, denominada de V2V (*Vehicle-to-vehicle*), que tipicamente são redes formadas por diversos veículos equipados com dispositivos de comunicação sem fios de curto alcance (OBU) que podem comunicar entre si, não necessitando de infraestruturas, semelhante aos dispositivos *Bluetooth*. O outro tipo de comunicação em VANET define-se V2I (*Vehicle-to-infrastructure*) e são redes formadas por diversos veículos que comunicam com infraestruturas ao longo da faixa de rodagem (RSU) [2] [7].

A Figura 3 ilustra os tipos de comunicação numa rede veicular, apresentando um cenário em que os nós/ OBUs A, B e C representam os veículos que circulam por uma via e trocam informações entre si e com uma estrutura fixa (I1). A comunicação entre os nós A, B e C caracteriza-se por uma comunicação V2V, sendo que a troca de mensagens entre si é realizada de modo a obterem informações sobre o ambiente envolvente onde se encontram, que pode ajudar a reduzir o número de acidentes e diminuir a intensidade do tráfego [8].

Cada OBU funciona em modo *ad-hoc* podendo encaminhar mensagens através de um “salto” ou de múltiplos “saltos”, ou seja, vários veículos intermediários retransmitem as mensagens entre veículos na mesma área de cobertura da comunicação sem fios. [8] Porém, neste modo, a conectividade da rede depende da densidade de veículos na vizinhança, isto é, caso existam poucos veículos em circulação, a informação pode não chegar ao destino final, e por outro lado, caso existam muitos veículos serão necessários algoritmos sofisticados para evitar as colisões de mensagens ou que os nós saturem [7].

A comunicação estabelecida entre o nó A e a infraestrutura I1 (modo infraestruturado), representada na Figura 3, designa-se de comunicação V2I, sendo que neste modo, a conectividade da VANET pode aumentar através de comunicação com outras redes e serviços ou até mesmo com a Internet, verificando-se que, contudo, o custo de implementação deste sistema aumenta, visto que há necessidade de ter RSUs espalhados pelas estradas [8]. A comunicação com as bases fixas geralmente tem maior alcance do que a comunicação V2V, podendo esta ser considerada uma vantagem da comunicação V2I em relação à V2V [7].

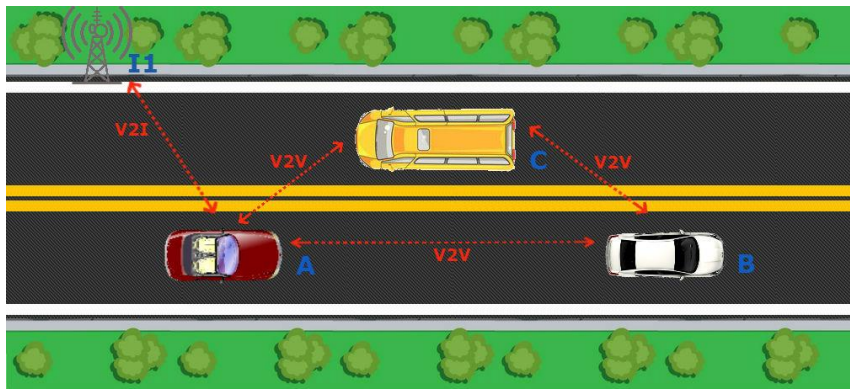


Figura 3: Tipos de Comunicação em VANETs (Adaptada de [8])

Apesar de existirem dois tipos de comunicação, V2V e V2I, existem três tipos de arquiteturas/topologias de rede que podem ser caracterizadas como (Figura 4):

1. Arquitetura modo *ad-hoc* puro, na qual os veículos não necessitam de uma infraestrutura externa para poderem trocar informações sempre que estiverem próximos o suficiente de outros veículos - VANET (Figura 4a);
2. Arquitetura modo infraestruturado, que resulta na comunicação entre veículo e infraestruturas localizadas nas faixas de rodagem. (Figura 4b);
3. Arquitetura híbrida, que se caracteriza pela existência dos dois tipos de comunicações, V2V e V2I, cuja finalidade é tentar obter o melhor destas duas últimas arquiteturas. Nesta topologia, os dispositivos rodoviários podem executar tarefas como a agregação e processamento de rede, acesso a redes maiores como Internet ou recursos de segurança (Figura 4c) [2].

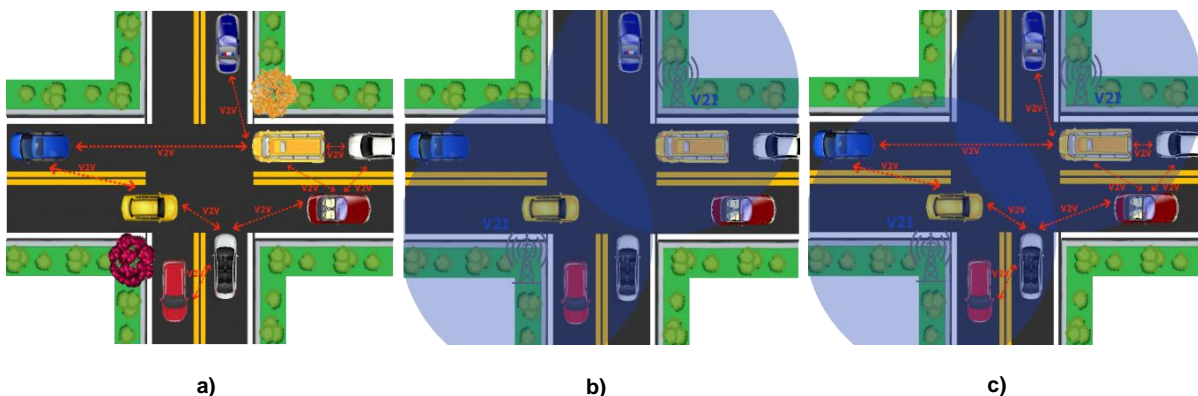


Figura 4: Topologia da rede a) Ad-hoc b) infraestruturada c) Híbrida (Adaptada de [4])

Uma rede *ad-hoc* é fácil de configurar, não necessita de ser implementada e só está presente quando existem dados para transmitir. No entanto, o encaminhamento de mensagens numa rede *ad-hoc* é complexo e a confiabilidade depende muito do número de veículos.

Algumas aplicações, como a conectividade à Internet, não são possíveis numa rede puramente *ad-hoc*, uma vez que os veículos apenas comunicam entre si, não tendo acesso a nenhum *gateway*.

A comunicação V2I é mais cara de implementar, mas compensa algumas desvantagens encontradas em redes *ad-hoc* puras, nomeadamente na conectividade quando existe densidade veicular muito baixa [7].

2.2 Características e Aplicações em VANETs

Conforme indicado anteriormente, as VANETs são redes móveis formadas principalmente por veículos, são um tipo de MANET que promovem a comunicação entre veículos. Assim sendo, os desafios encontrados na implementação das MANETs são também os desafios encontrados na implementação das VANETs.

As VANETs herdam algumas características das MANETs, mas contêm também tem características próprias que as diferenciam das restantes redes *ad-hoc*, tais como:

- **Densidade da rede variável**, esta característica varia consoante o número de veículos, isto é, a densidade é elevada quando existem um elevado número de veículos, por exemplo, congestionamentos. A densidade é baixa quando existe um número reduzido de veículos;
- **Alta Mobilidade**, os nós da rede (veículos) encontram-se em constante movimento, deslocando-se a velocidades variáveis e em diversas direções, o que dificulta a predição do nó;
- **Topologia da rede dinâmica**, devido às velocidades variáveis dos nós e direções variáveis, existe uma alteração constante na posição dos nós em relação aos nós vizinhos, alterando-se assim muito rapidamente a topologia da rede;
- **Tamanho da rede ilimitada**, as VANETs podem ser instaladas em regiões, cidades ou até mesmo por todo o país, ou seja, o tamanho da rede é ilimitado em relação à região geográfica.
- **Desconexões frequentes**, devido à topologia da rede dinâmica, à alta mobilidade dos nós, às condições climáticas, à baixa densidade do tráfego (nós mais afastados) e à obstrução momentânea causada por obstáculos, podem verificar-se desconexões frequentes;
- **Troca rápida de mensagens**, devido às altas velocidades e mobilidade constantes dos veículos na rede, as trocas dos vários tipos de mensagens devem ser rápidas, logo as mensagens devem ser entregues num tempo mínimo para que as ações apropriadas possam ser tomadas pelo recetor de acordo com a mensagem;
- **Energia Suficiente**, os nós não apresentam problemas relacionados com a energia, visto que existem várias técnicas como RSA (*Rivest-Shamir-Adleman*) e ECDSA (*Elliptic Curve Digital Signature Algorithm*) que são implementadas e fornecem potência de transmissão infinita [9].

Os principais objetivos das VANETs são assegurar a segurança rodoviária, melhorar a eficiência do tráfego e proporcionar uma maior comodidade aos ocupantes do veículo, associada à possibilidade de planificar de forma eficiente o percurso durante a viagem.

De acordo com a maioria dos casos, as aplicações implementadas em VANETs podem ser classificadas em dois tipos: aplicações seguras e aplicações não-seguras.

Tipicamente, a intenção das aplicações de segurança é a prevenção de acidentes, e esta é a principal motivação para o desenvolvimento das redes veiculares *ad-hoc*. O consórcio de Comunicações de Segurança de Veículos (VSC) identificou algumas aplicações de segurança: aviso de violação

de sinal de trânsito, aviso de velocidade numa curva, luzes de travagem de emergência, aviso de pré-mudança de faixa, travagem, aviso e assistência de movimento com sinalização. Estas aplicações apresentam uma grande necessidade de comunicação entre veículos e/ou entre veículos e infraestruturas. Por essa razão, os veículos encontram-se equipados com vários sensores que recolhem dados de tráfego e monitorizam o ambiente continuamente e, também com aplicações cooperativas de segurança veicular podem alterar informações de trânsito em tempo real e enviar / receber mensagens de aviso através de comunicação V2I ou V2V a fim de melhorar a segurança rodoviária e evitar acidentes [3] [10].

As aplicações não seguras incluem informações sobre o estado e a eficiência do tráfego, conforto/entretenimento e aplicações de *infotainment* (informação e entretenimento). Alguns exemplos destas aplicações são a monitorização do tráfego nas vias (por exemplo: a existência de um congestionamento na faixa rodoviária e o tempo previsto para o mesmo), aviso de aproximação de veículos prioritários, assistência em viagem, assistência turística e acesso à Internet fornecendo serviços como *downloads* e jogos online [10].

2.3 Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)

Os sistemas de transporte inteligente (ITS) implicam a introdução de novos elementos no veículo, principalmente relacionada com as comunicações *wireless*, computação e capacidade de detetar o ambiente envolvente através de sensores instalados nos veículos. Os veículos são sistemas de computação sofisticados com vários computadores a bordo que recolhem a informação acerca de si mesmos e do ambiente envolvente, partilhando informação com outros veículos próximos e com infraestruturas [11].

Os ITS têm grandes potenciais em aplicações de segurança rodoviária bem como em aplicações não-seguras. Um dos grandes desafios para os ITS é assegurar uma comunicação confiável e rentável do veículo, que poderá ser dificultada devido à grande quantidade de veículos, alta mobilidade dos mesmos e tráfego excessivo. Iremos abordar o uso de comunicações de curto alcance dedicadas (DSRC) para coexistência de aplicações de segurança e não segurança em redes de veículos com infraestrutura. O principal objetivo é melhorar a escalabilidade das comunicações para as redes veiculares, garantir a QoS (qualidade de serviço ()) para aplicações de segurança e deixar, tanto quanto possível, a largura de banda para aplicações não relacionadas com a segurança [6].

IEEE802.11 é a família de normas de rede sem fios criado e publicado pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrónicos), que define duas camadas do modelo OSI (*Open System Interconnection*), as camadas de enlace e física. Para a camada de enlace, o protocolo define duas camadas, a LLC (*logical link control*) e MAC (*media access control*). Para a camada física (PHY) a norma define vários tipos de codificação. Estas camadas oferecem a conectividade sem fios dentro da área rede local. De um modo simplista, o 802.11 consiste basicamente numa camada MAC comum e várias camadas físicas, que definem um conjunto de normas de transmissão e codificação para a comunicação sem fios. A camada MAC, que é equivalente para as variações da camada PHY, no caso das redes sem fios em ambientes veiculares WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*)

(IEEE.802.11p), teve de ser alterada, com vista a contornar alguns problemas como atrasos nos processos de autenticação e associação, ou limitações devido à sobrecarga, como se poderá observar mais à frente na dissertação. A camada física do 802.11 baseada em OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*), também sofreu algumas modificações para comunicação para V2V ou V2I (Figura 5) [7].

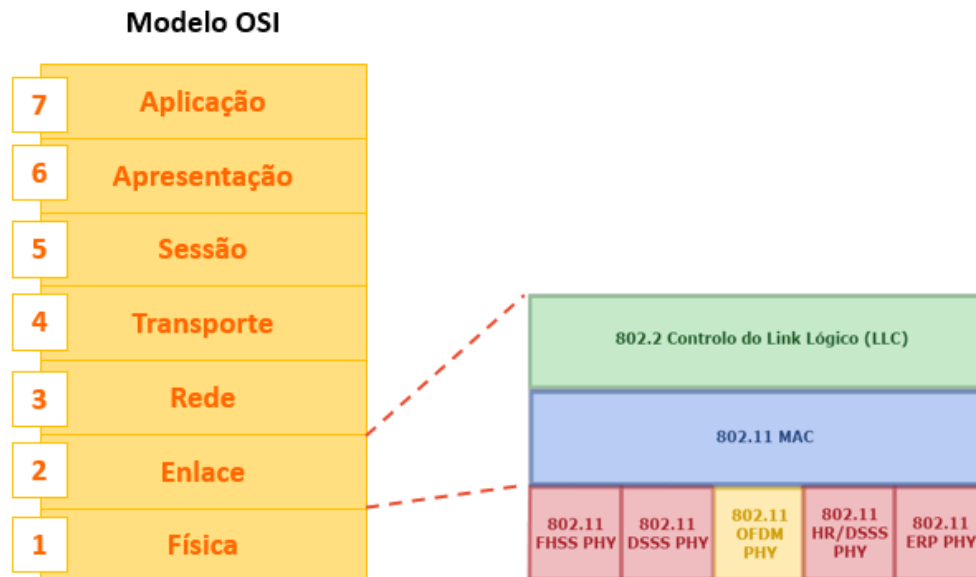


Figura 5: Arquitetura da camada MAC e PHY da norma IEEE802.11 (Adaptada de [7])

O processo de normalização do IEEE802.11p WAVE teve origem na atribuição de uma banda do espectro dedicado à comunicações de curto alcance DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) nos EUA, para a sua aplicação em redes veiculares e no esforço para definir a tecnologia para o uso da banda DSRC [12].

2.3.1 Norma IEEE802.11p

Em 1990, o primeiro passo na área dos ITS, foi dado pela FCC (*Federal Communication Commission*) nos EUA através da atribuição de uma banda de frequências de 75MHz, no espectro de 5,850 GHz a 5,925 GHz, para o uso exclusivo de aplicações em ITS [13].

Esforços similares ocorrem em outras partes do mundo, na Europa, por exemplo, estabeleceu-se a banda de 30MHz no espectro de 5 GHz, com o propósito de apoiar comunicações veiculares para aplicações de segurança e mobilidade.

O espectro para aplicações DSRC foi dividido em 7 canais com uma largura de banda de 10MHz, tal como representado na Figura 6.

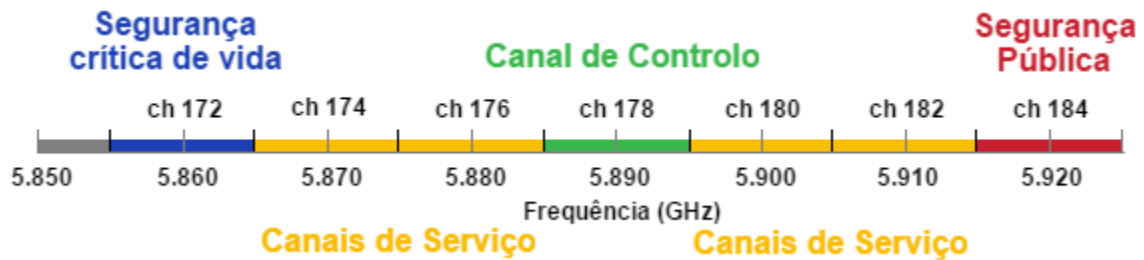


Figura 6: Atribuição do espectro para aplicações DSRC (Adaptada de [12])

O protocolo foi desenvolvido com o objetivo de reservar uma banda de comunicação de curto alcance a fim de possibilitar as comunicações apenas entre veículos e equipamentos próximos.

O canal 178 define-se como CCH (canal de controlo), dedicado à transmissão de mensagens curtas e gestão da comunicação para aplicações de segurança rodoviária. Os canais localizados nas extremidades (172 e 184) são canais reservados para usos especiais, tal como se pode observar na (Figura 6) são restritos à segurança pública e segurança crítica de vida, enquanto os restantes canais são intitulados SCH (canais de serviço) e estão disponíveis para aplicações seguras e não seguras, tais como, a eficiência de tráfego, informação e entretenimento (*infotainment*).

No entanto, nos canais de serviço a prioridade é dada às aplicações seguras. Isto deve-se ao facto de se supor que aplicações seguras em VANET devam ser as responsáveis por assegurar vidas, alertando os condutores de eventuais situações.

A banda DSRC é uma banda livre (isenta de taxas) e é restrita a aplicações e tecnologias veiculares. Esta banda não deve ser confundida com as bandas de 900 MHz, 2,4GHz e 5GHz que também são livres, estando povoadas com *Wi-Fi* e *Bluetooth*.

A reserva de uma faixa de comunicação de curto alcance dedicada (DSRC) pode ser considerada como uma das primeiras iniciativas de normalização das tecnologias especificadas para as comunicações veiculares de curto alcance V2V e V2I. Em 2004, o grupo de trabalho do IEEE 802.11 assumiu o papel já antes iniciado pela ASTM 2313 (*American Society for Testing and Materials*) e começou a desenvolver uma alteração à norma IEEE802.11 (de redes *Wi-Fi*) a fim de normalizar as comunicações nas redes veiculares, norma essa que ficou posteriormente conhecido como IEEE802.11p [12].

Estas alterações foram notórias a nível da camada física (PHY) e da camada de controlo de acesso ao meio (MAC). As alterações e adaptações foram baseadas nas normas já existentes para as redes locais IEEE802.11a e IEEE802.11e, respetivamente.

As alterações à camada física são mais limitadas, visto que alterações mais significativas levariam a um redesenhar integral do sistema IEEE 802.11a. Desta forma, foram realizadas pequenas alterações à norma IEEE802.11a, tendo como principal objetivo o suporte eficiente da comunicação entre veículos que se deslocam a elevadas velocidades [14].

A norma IEEE802.11p contempla canais com largura de 5MHz e 10MHz, o que se revela de fácil implementação, uma vez que envolve apenas a duplicação de todos os parâmetros do tempo

OFDM utilizado nas transmissões regulares de 20MHz da norma IEEE802.11a, esta técnica de modulação faz a multiplexação por divisão de frequência encaminhando os sinais através de diferentes canais/frequências.

A escolha de canais com menor largura de banda permite compensar o aumento do *delay spread* RMS em comunicações veiculares [8] [12].

O movimento de veículos muito próximos e a diferença de velocidades era uma preocupação crescente do grupo de trabalho, devido às interferências entre canais, sendo que segundo as medições em [12], os veículos vizinhos podem interferir uns com os outros se estiverem em canais adjacentes, por exemplo um veículo A que transmite no canal 172 poderia interferir ou impedir o veículo B, na faixa adjacente, de receber mensagens de segurança enviadas pelo veículo C que está a uma distância de 200 metros e a transmitir no canal 178. Na tentativa de solucionar este problema, o IEEE802.11p introduziu alguns requisitos melhorados para a rejeição de canais adjacentes utilizando CSMA/CA (*Carrier Sense Multi Access/Colision Avoidance*) com o intuito de reduzir as colisões e garantir uma utilização mais justa do canal de comunicação. Neste protocolo, o dispositivo escuta o canal antes de enviar um pacote e envia um pacote apenas se o canal se encontra livre [12].

A camada PHY permite a troca de dados V2V e V2I, com uma velocidade de transmissão entre 3-27 Mbps, podendo alcançar cerca de 1000 metros [8].

Relativamente à camada MAC foi onde ocorreram as maiores alterações, uma vez que são simples (ao nível do software) e são indispensáveis em ambientes que envolvem veículos e infraestruturas.

Esta camada fornece uma interface e um mecanismo de controlo a fim de tornar os diferentes nós da rede capazes de comunicar uns com os outros e com as infraestruturas, visando tornar a comunicação mais rápida, eficiente e diminuindo o *overhead* [12].

Neste sentido, em vez de existir um BSS (*Basic Service Set*)⁸ que requer a aquisição de uma identificação SSID (*Service Set Identification*) para poder aceder ao AP (*Access Point*), o que incrementaria muito tempo, o sistema IEEE802.11p funciona de maneira diferente, induzindo a criação de um novo BSS sem fios, o WAVE BSS (WBSS).

O WBSS permite a uma estação ou nó completar um processo WBSS e trocar dados, apenas pela receção da informação sobre a existência de uma rede sem fios WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*), usando um BSSID (*Basic Service Set Identification*) que está sempre disponível. Este método permite ao nó comunicar com todos os nós ao seu alcance, independentemente de estes estarem associados a um WBSS. Este método descarta todo o processo de autenticação e autorização, que deverão ser geridos pelas camadas superiores, tornando desta forma o processo de comunicação mais rápido e fácil [14].

Posteriormente alocou-se a banda de comunicação de curto alcance com o mesmo objetivo, para a Europa e Japão.

Com o intuito de definir a camada PHY e MAC, os EUA e Europa, utilizaram o mesmo protocolo IEEE802.11p, utilizando principalmente a banda de 5,9 GHz (dividida em 7 canais de 10MHz), mesmo

⁸ Segundo o Anexo A onde se pode encontrar a arquitetura da norma IEEE802.11p

sabendo que os sistemas podem estar sujeitos a quaisquer interferências com outras aplicações, que operam na mesma banda de frequências como é o caso de dispositivos como 802.11a e 802.11c. A intenção na escolha da mesma norma deve-se ao facto da existência de compatibilidade entre as duas regiões, uma vez que mesmo que as bandas sejam diferentes, as frequências são suficientemente próximas para permitir o uso da mesma antena e frequência.

O Japão considerou a compatibilidade com a norma 802.11p na banda dos 5,8GHz (ARIB-STD-T109), no entanto desenvolveu também o seu próprio padrão que opera em bandas mais baixas, na ordem dos 70MHz (utilizando apenas um canal de 10MHz), que são frequências mais adequadas para os cenários de interseção onde ocorrem 80% dos acidentes rodoviários no Japão. A seleção da banda de frequências mais baixa é favorável para este tipo de cenários na medida em que aumenta a capacidade de refletir sinais de rádio nos cantos dos cruzamentos, usando acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) fornecendo melhor controlo sobre as interferências. A Tabela 1 descreve a atribuição de frequências, a norma e as características para cada região.

	Japão	EUA	Europa
Standard/Comité	ITS-Forum, AIRB	IEEE	ETSI
Banda Frequência	700 MHz; 5,8 GHz	5,9 GHz	5,9 GHz
Alocação da Frequência	(1)755-765 MHz (2) 5.8 GHz	5850-5925 MHz	5855-5925 MHz
Número de canais	(1)1X10 MHz (2) espaçado 5Mz	7 x 10 MHz	
Protocolos das Camadas Superiores	(1) ARIB STD-T109 (2) ARIB STD-T75	IEEE 1609 e TCP/IP	EN 302 665
Protocolos das Camadas Inferiores (MAC e PHY)	(1) ARIB STD-T109 (2) ARIB STD-T75	IEEE 802.11p	EN 302 663 (utiliza IEEE 802.11p conhecido como ITS-G5)
Quantidade de dados por canal	3-27 Mbps	3-54 Mbps para diferentes canais, largura de banda e modulações	

Tabela 1: Características das diferentes regiões, em termos de frequências, camadas e dados (Adaptada de [7])

Para as camadas superiores, cada região desenvolveu a sua própria norma. As camadas superiores dos EUA baseiam-se na família de normas IEEE1609x, também conhecida como WAVE, enquanto a regulamentação europeia se baseia no ITS-G5, e o Japão utiliza as normas em ARIB-STD-T75 e ARIB-STD-T109 para diferentes camadas. Como resultado, cada região tem uma implementação diferente, embora semelhante em ITS. As camadas superiores de cada região encontram-se descritas no Anexo B [7].

2.3.2 Aplicações em Veículos e Novas Tecnologias

Com o rápido desenvolvimento dos Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), as redes de comunicação veicular têm sido amplamente estudadas nos últimos anos.

Existem vários sistemas de comunicação sem fios, que permitem uma vasta gama de aplicações e casos de uso em ambiente veicular. Estas aplicações podem ser agrupadas em três tipos, tais como a segurança rodoviária, a eficiência do tráfego e *infotainment*, cada uma com os seus próprios requisitos funcionais e de desempenho, como representado na Tabela 2.

Aplicações	Tipo Aplicação	Caso de Uso	Comunicação	Tipo Comunicação	*	Latência Máxima	Exemplos
Relacionadas com Segurança	Segurança	Aviso do estado do veículo	<i>Ad-hoc</i> , V2V	Broadcast periódico	1Hz - 10Hz	100 ms	Avisar do estado anormal do veículo
		Aviso do tipo de veículo	<i>Ad-hoc</i> , V2V	Broadcast periódico	1Hz - 10Hz	100 ms	Aviso de veículo de emergência/lento, de motociclo ou pedestre
		Aviso de perigo de tráfego	infraestrutura, ad-hoc, V2V, V2I	Broadcast periódico e unicast	1Hz - 10Hz	100 ms	Aviso de veículo estacionário, alerta das condições do tráfego, aviso de violação de um sinal, aviso de trabalhos na estrada
		Alerta dinâmico do veículo	<i>Ad-hoc</i> , V2V	Broadcast periódico	2Hz - 10Hz	100 ms	Aviso da intenção de ultrapassagem, auxílio na ultrapassagem, aviso de deteção de pré-tratamento
Não Relacionadas com Segurança	Gestão do Tráfego	Regulação dos limites de velocidade	infraestrutura, V2I	Broadcast periódico e unicast	1Hz	N/A	
		Consultar semáforos de velocidade	infraestrutura, V2I	Broadcast periódico e unicast	2Hz	100 ms	
		Gestão de Interseções	infraestrutura, ad-hoc, V2V, V2I	Broadcast periódico e unicast	1Hz	100 ms	
		Cooperativa e flexível mudança de faixa	infraestrutura, ad-hoc, V2V, V2I	Broadcast periódico e unicast	1Hz	500 ms	
		Portagem electrónica	infraestrutura, V2I	unicast	1Hz	500 ms	
	<i>Infotainment</i>	Notificação de ponto de interesse	infraestrutura, rede celular	Broadcast periódico e unicast	1Hz	500 ms	
		Comércio Electrónico	infraestrutura, rede celular	unicast	1Hz	500 ms	
		Download de Mídia	infraestrutura, rede celular	Broadcast sob demanda e unicast	1Hz	500 ms	
	Download para atualização de mapas	infraestrutura, rede celular	Broadcast sob demanda e unicast	1Hz	500 ms		

*Frequência mínima de mensagens periódicas

Tabela 2: Características das aplicações relacionadas e não relacionadas com segurança e casos de uso (Adaptada de [8] e [15])

Os serviços de segurança visam reduzir o número de acidentes do carro e diminuir a possibilidade de perda de vidas para os utilizadores do veículo. Neste sentido o principal objetivo da aplicação de segurança rodoviária é a transmissão de mensagens curtas, para que rapidamente possam chegar ao condutor, permitindo, desta forma melhorar a segurança e reduzir a sinistralidade na estrada.

Estas mensagens de segurança básica (BSMS) podem ser classificadas de periódicas ou acionadas por eventos, segundo o ETSI, estas mensagens são designadas de CAMs (*Cooperative Awareness Messages*) e DENMs (*Decentralized Environmental Notification Messages*), respetivamente.

As mensagens CAMs são mensagens curtas e periódicas enviadas a partir de veículos para veículos vizinhos, com vista a oferecer a informação acerca do seu estado, tal como, posição, velocidade, aceleração entre outras.

As mensagens DENMs também são mensagens curtas e tal como referido anteriormente são acionadas por eventos e transmitidas para alertar os condutores de um evento perigoso na potencial área de interesse [16].

A frequência mínima das mensagens periódicas para serviços de segurança varia entre 1Hz e 10Hz, sendo o tempo de reação da maioria dos condutores de 0,6s a 1,4s, logo é razoável restringir o tempo de latência máxima para 100 ms. Por exemplo, a latência máxima de aviso de deteção antes do choque é de 50 ms.

As aplicações relacionadas com segurança utilizam principalmente a comunicação no modo *ad-hoc*, possuem restrições de tempo e têm prioridade na camada MAC [15].

Os serviços que não se encontram relacionados com segurança são utilizados principalmente para a gestão do tráfego, controlo de congestionamento, melhoria a fluidez do tráfego e *infotainment*. O principal objetivo destes serviços é permitir uma experiência de condução mais eficiente e confortável. Estes serviços podem ser divididos em duas aplicações: eficiência do tráfego e *infotainment* [17].

A aplicação de eficiência de tráfego necessita de RSUs com conectividade de modo a serem feitas as atualizações periódicas a centros remotos para controlo do tráfego.

Nas aplicações de eficiência de tráfego, as mensagens não têm requisitos rigorosos de atraso e confiabilidade, este tipo de serviço requer transmissões periódicas recolhidas pelos veículos a partir dos seus sensores internos e externos (CAN, câmara do veículo, sensores ambientais, entre outras) para servidores de gestão remotos, onde são processadas, monitorizadas com o objetivo de se prever o congestionamento do tráfego, sugerindo rotas alternativas, por exemplo. Utiliza a comunicação *ad-hoc* e infraestruturada, e apresenta menor prioridade que as aplicações de segurança, tendo uma latência superior.

A aplicação de *infotainment*, inclui as aplicações tradicionais emergentes da Internet, como por exemplo, fazer download de conteúdos, *streaming* media, VoIP, navegação Web, redes sociais, *upload* de blogs, jogos e acesso à nuvem.

Os casos de uso para esta aplicação utilizam a comunicação infraestruturada (redes móveis, Internet), e a preocupação com a latência é menor comparativamente às outras aplicações, visto que esta é uma aplicação cujo objetivo não está relacionado com a segurança rodoviária, não sendo importante a velocidade de comunicação.

Comparativamente aos serviços de segurança, os serviços não relacionados com segurança têm requisitos de QoS diferentes. Para a maioria destes serviços, a frequência mínima de mensagens periódicas é de 1Hz, enquanto a latência máxima é de 500 ms [16].

Embora a norma IEEE802.11p tenha sido a considerada para as comunicações veiculares (V2V e V2I), segundo [15], vários *stakeholders* têm demonstrado um crescente interesse na investigação

acerca da usabilidade/aplicabilidade das redes móveis em aplicações veiculares, tal como a tecnologia LTE (*Long Term Evolution*). Na Tabela abaixo encontra-se em realce algumas características diferenciadoras das principais tecnologias sem fios para a comunicação veicular.

Características	WI-FI	802.11p	UMTS	LTE	LTE-A
Largura de banda	20MHz	10MHz	5MHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	Superior a 100 MHz
Banda de frequências	2,4GHz; 5,2GHz	5,86 – 5.02 GHz	700-2600 MHz	700-2690 MHz	450 MHz-4,99GHz
Taxa de bits	6-54 Mbps	3-27 Mbps	2 Mbps	Superior a 300 Mbps	Superior a 1 Gbps
Alcance	Superior a 100 m	Superior a 1km	Superior a 10km	Superior a 30km	Superior a 30km
Capacidade	Média	Média	Baixa	Alta	Muito Alta
Cobertura	Intermitente	Intermitente	Ubíquo	Ubíquo	Ubíquo
Suporte à Mobilidade	Baixa	Média	Alta	Muito Alta (superior a 350 km/h)	Muito Alta (superior a 350 km/h)
Suporte QoS	EDCA	EDCA	Classes QoS e Seleção do Portador	QCI e Seleção do Portador	QCI e Seleção do Portador
Suporte Broadcast	Nativo Broadcast	Nativo Broadcast	Através MBMS	Através eMBMS	Através eMBMS
Suporte V2I	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Suporte V2V	Nativo (ad-hoc)	Nativo (ad-hoc)	Não	Não	Potencialmente, através de D2D
Posição no Mercado	Alta	Baixa	Alta	Potencialmente Alta	Potencialmente Alta

Legenda: EDCA: *Enhanced distributed channel access*; MBMS: *Multimedia Broadcast Multicast Services*; eMBMS: *Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services*

Tabela 3: Principais tecnologias sem fios para comunicação veicular (Adaptada de [16])

O IEEE802.11p é a norma que suporta aplicações ITS nas redes veiculares *ad-hoc*, apresentando como principais vantagens, a fácil implementação, o baixo custo, a tecnologia robusta e a capacidade de suportar comunicações V2V no modo *ad-hoc*. No entanto esta norma ostenta algumas lacunas, nomeadamente a escalabilidade, os atrasos ilimitados, a falta de QoS, e, devido à sua limitada gama rádio, a comunicação V2I tem conectividade ineficiente e de curta duração [16].

O LTE representa a nova geração de redes móveis rádio definidas pelo Projeto de Parceria de 3ª Geração (3GPP) [18] e é a tecnologia de banda larga sem fios mais promissora que oferece uma elevada taxa de dados e baixa latência para os utilizadores móveis. Esta tecnologia adapta-se às exigências de largura de banda e QoS para aplicações veiculares como *infotainment*. Contudo, a sua capacidade para suportar aplicações de segurança e eficiência de tráfego necessita de ser explorada devido à arquitetura centralizada do LTE [16], isto é, todas as comunicações atravessam os nós da infraestrutura (ou seja, todas as mensagens passam pelo núcleo da rede antes de serem encaminhadas

para os nós de destino), mesmo que seja necessário apenas a comunicação localizada V2V. Para aplicações de segurança críticas, isto acarreta consequências negativas para a latência das mensagens. Além disso, em áreas de tráfego denso, a elevada carga gerada pelas transmissões de mensagens periódicas, a partir dos vários veículos, desafia a capacidade do LTE e penaliza a entrega de aplicações tradicionais.

Na tentativa que solucionar este problema, a comunicação dispositivo-para-dispositivo D2D (*Device To Device*) proposta na *Release 12* do LTE, está a emergir como uma tecnologia chave para suportar aplicações de segurança e eficiência do tráfego em redes veiculares *ad-hoc* [15].

Existem várias razões para a aplicabilidade da tecnologia LTE em ambientes veiculares, nomeadamente:

Cobertura e Mobilidade: devido à existência de *eNodeBs* organizados na tecnologia de LTE, esta oferece uma ampla área de cobertura, ou seja, isso resolveria o problema de conectividade descontínua e de curta duração do IEEE802.11p, o que seria particularmente indicado para comunicações V2I com elevadas velocidades.

As infraestruturas de LTE também apresentam uma solução viável para suportar a fragmentação da rede quando existe uma baixa densidade de veículos, ou para a propagação de informação no caso de existir interseções rodoviárias e obstruções na linha de visão entre os veículos.

Penetração no Mercado: prevê-se que a taxa de penetração mais elevada esperada seja alcançada pela tecnologia LTE face ao IEEE802.11p, visto que a interface LTE já se encontra integrada em dispositivos comuns dos utilizadores, como *smartphones*, bastando apenas que os passageiros passem a aceder à Internet enquanto navegam nas estradas, através desses dispositivos, tanto para aplicações como para assistência veicular [16].

Capacidade e escalabilidade: o LTE oferece alta capacidade de *uplink* (até 75Mbps na Rel 8 até 1Gbps para LTE-Advanced Rel11) e de *downlink* (até 150Mbps) com uma largura de banda de 20 MHz e consegue suportar vários veículos que se desloquem a uma velocidade de 350 km/h [15]. Tais valores são superiores à norma IEEE802.11p que fornece uma taxa de dados de 27Mbps. No entanto, existem ainda algumas questões levantadas acerca da aplicabilidade em alguns cenários de aplicações veiculares.

Arquitetura centralizada: tal como referido acima, a arquitetura do LTE revela uma preocupação, devido ao facto de não suportar nativamente as comunicações V2V, uma vez que todas as comunicações têm que atravessar os nós da infraestrutura. O tráfego *uplink* é intercetado pelos nós da infraestrutura antes de ser redistribuído para os veículos em causa. Uma mensagem de radiodifusão ao longo da célula pode atingir os veículos que não interessam (por exemplo, veículos que vem no sentido oposto ao perigo anunciado), neste sentido, as entidades especializadas na rede (exemplo: servidores) e outros elementos do núcleo da rede devem ser envolvidos e devem também ser desenvolvidos mecanismos para a divulgação de mensagens cooperativas.

Canais e modos de Transporte: as trocas de mensagens CAMs e DENM em LTE envolvem transmissões de veículos para infraestruturas. Em relação aos modos de transporte, o *unicast* é sempre utilizado na ligação ascendente enquanto os modos *unicast* e *broadcast* podem ser usados no *downlink*, aproveitando as capacidades do MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Services*). No caso da ligação

ascendente o problema é selecionar o tipo de canal mais adequado sem risco de congestionamento. O canal de acesso aleatório é um canal de transporte comum de ligação ascendente, normalmente selecionado para a sinalização e para transmitir pequenas quantidades de dados, tais como CAMs e DEMS. No caso de *downlink*, o modo de transmissão em *broadcast* é mais eficiente em recursos do que o modo *unicast*, embora possa implicar atrasos maiores, devido à configuração da seção MBMS.

Estado do Dispositivo: A latência também é influenciada pelo estado do terminal móvel, logo para economizar recursos as redes móveis configuram os terminais em modo inativo. Antes de enviar dados, o terminal deve ser configurado para modo ativo a fim de ser estabelecida a conexão, contudo a transição de inativo para ativo pode aumentar a latência. O terminal móvel na transmissão de CAMs periódicas, deve estar no modo ativo, enquanto na transmissão de uma mensagem DEMN só quando é necessário estabelecer ligação com o terminal móvel, é que passa para o modo ativo [16].

Embora a tecnologia LTE seja bastante promissora, ambas as comunicações sem fios, DSRC utilizando a norma IEEE802.11p e redes móveis têm as suas próprias limitações quando utilizadas em ambientes veiculares. DSRC foi inicialmente projetada para comunicações de curto alcance sem necessidade de infraestrutura, por outro lado as redes móveis fornecem maior área de cobertura geográfica, mas não fazem o intercâmbio de informações em tempo real de forma eficiente em áreas locais [1].

Assim sendo, uma potencial solução para satisfazer as necessidades de comunicação em ITS, é a pesquisa conjunta destas duas tecnologias, isto é, HetVNET (redes veiculares heterogêneas), que integram DSRC com redes móveis, a fim de suportar os requisitos de comunicação dos ITS.

2.4 Redes Veiculares Heterogêneas (HetVNET)

A comunicação dedicada de curto alcance (DSRC) pode fornecer uma eficiente troca de informações, em tempo real entre veículos, sem necessidade de infraestrutura de comunicação periférica na estrada. Tal como referido anteriormente, as redes móveis são capazes de fornecer uma ampla cobertura para os utilizadores dos veículos, contudo os requisitos de serviço que exigem segurança em tempo real nem sempre podem ser garantidos por este tipo de rede. [16] O estudo da HetVNET, torna-se importante, na medida em que é referida por alguns autores como uma potencial solução para as comunicações em ITS.

Com o intuito perceber as redes veiculares heterogêneas, primeiramente será abordada a estrutura deste novo tipo de rede e de seguida irá discutir-se a aplicabilidade dos diferentes tipos de comunicação (V2V e V2I) e dos diferentes tipos de tecnologias (DSRC e LTE) para este tipo de rede. Uma rede veicular heterogênea é composta por três componentes principais, nomeadamente uma rede de acesso rádio (*Radio Access Network* - RAN), uma rede central (*Core Network* - CN) e um centro de serviços SC (*Service Center*) – Figura 7. Os provedores de serviços fornecem uma variedade de serviços aos utilizadores através do SC, o CN é uma componente chave do HetVNET porque fornece funções importantes, tais como, a agregação, a autenticação, a comutação entre outras. Ao nível da RAN existem dois tipos de comunicações, V2V e V2I, tal como nas redes veiculares tradicionais.

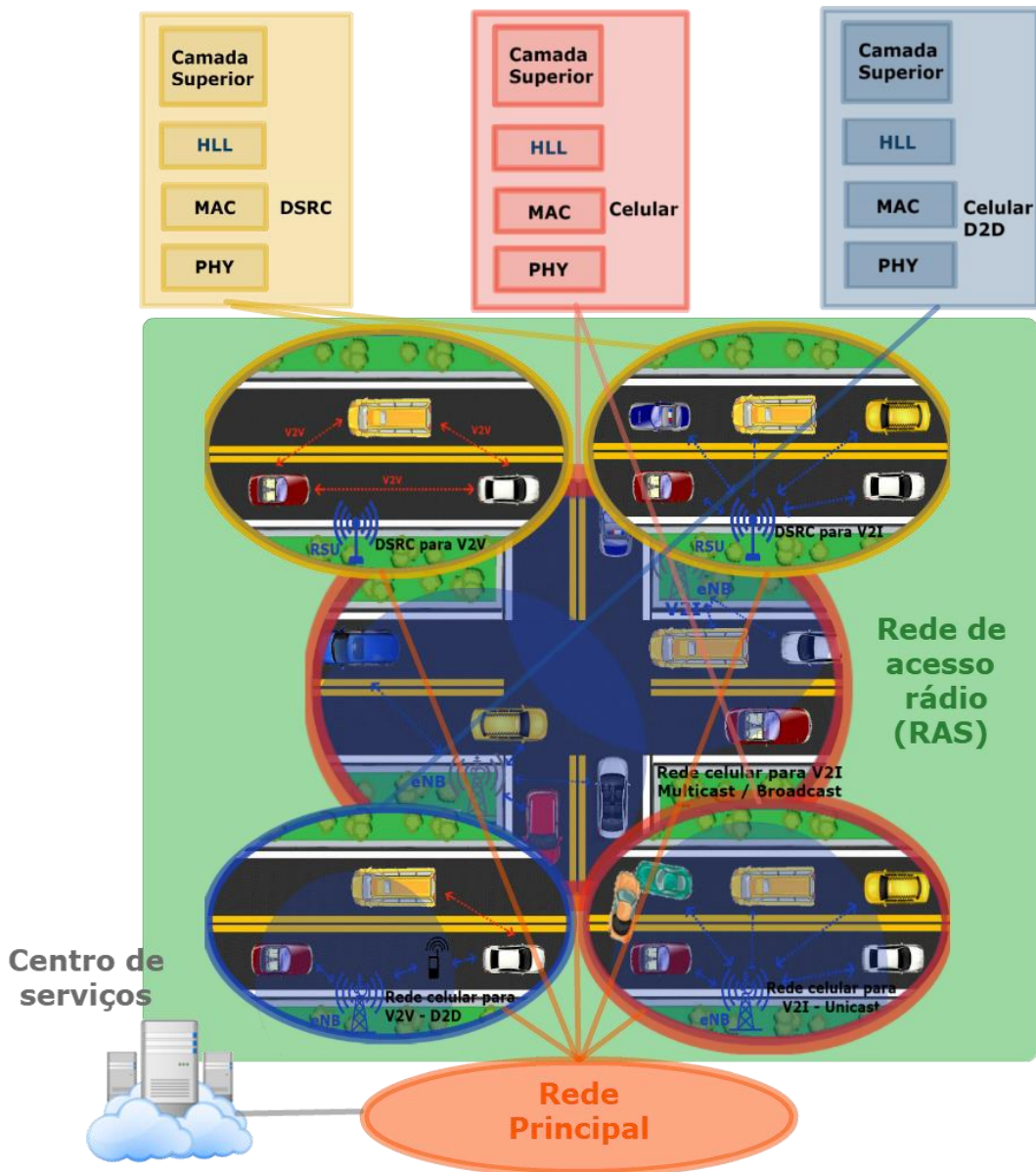


Figura 7: Estrutura das redes HetVNET (Adaptada de [15])

As várias tecnologias de acesso sem fios candidatas para suportar as comunicações V2V e V2I em HetVNET dependem dos requisitos específicos. Assim sendo, é uma tarefa desafiadora para este tipo de redes, selecionar o método rádio mais eficiente e adequado que satisfaça todos os requisitos de QoS distintos de serviços desejados para os utilizadores dos veículos. Um dos principais desafios que as HetVNETs enfrentam é conseguir apoiar uma composição dinâmica e instantânea das diferentes redes, e permitir que os operadores utilizem recursos rádio de forma eficiente e flexível. Neste sentido, tal como mostra a Figura 7, introduziu-se uma nova camada, a *Heterogeneous Link Layer* – HLL, que opera no topo da camada MAC em cada rede de acesso via rádio. O HLL possibilita o processamento unificado, oferece uma interface unificada para as camadas superiores e esta pode adaptar-se às técnicas rádio subjacentes.

Esta nova camada apresenta funções específicas, cujos principais objetivos são a gestão global dos recursos de rede e satisfazer os requisitos de QoS dos serviços seguros e não seguros, facilitando a coordenação entre as várias redes rádio.

Visto que as técnicas da camada física e os protocolos da camada de rede para diferentes sistemas, têm muitas vezes características únicas, uma abordagem unificada que permita a cooperação entre os múltiplos sistemas é altamente desejável.

Através de técnicas de virtualização, a infraestrutura física sem fios e os recursos de rádio em HetVNET podem ser abstraídos e isolados numa série de recursos isolados [15]. A virtualização é uma abstração do recurso, que permite o compartilhamento no tempo do recurso sem que o utilizador consiga perceber qual está a ser compartilhado. Desta forma os utilizadores do recurso são representados por fatias como representado na Figura 8. Esta abstração é frequentemente implementada como uma camada de *software* que fornece “interfaces virtuais fatiadas” muito semelhantes à interface real.

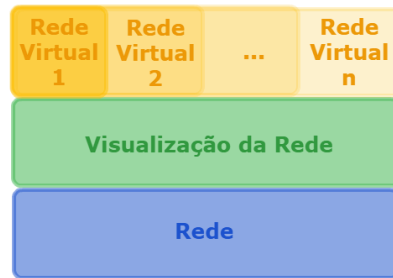


Figura 8: Virtualização numa Rede (Adaptada de [19])

Existem dois fatores importantes no modelo de virtualização de rede: o plano de controlo e o plano de dados. O primeiro classifica-se como um conjunto de protocolos e mecanismos que definem como a rede deve ser controlada. O plano de controlo é responsável por mecanismos como o encaminhamento e gestão. O plano de dados, refere-se ao encaminhamento de dados incluindo regras de encaminhamento, filtragem e priorização, assumindo que todas as regras foram definidas pelo plano de controlo [19].

Atendendo ao que foi indicado sobre os diferentes tipos de comunicação (V2V e V2I) e de tecnologias (DSRC e LTE), e a sua aplicação nas HetVNET, serão apresentadas algumas características de cada uma das tecnologias. Cada tecnologia candidata para comunicações V2I ou V2V, LTE/LTE D2D e DSRC, apresenta as suas próprias vantagens e desafios em ambientes veiculares, tal como ilustrado na Tabela 4.

Modo de Comunicação		LTE/LTE D2D	DSRC
Comunicação V2I	Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ampla Cobertura; 2. Mecanismos Robustos para gestão de mobilidade; 3. Alta capacidade de <i>downlink</i> e <i>uplink</i>; 4. Arquitetura Centralizada e plana; 5. Alta eficiência Embms. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil implementação e baixo custo; 2. Adequado para disseminação de mensagens locais, isto é, sinais de trânsito, informação de estacionamento.
	Desafios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de esquemas de programação para serviços ITS; 2. Os utilizadores no estado ocioso causam atraso na disseminação de mensagens; 3. Sobrecarga em ambientes de alta densidade. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto Piloto disperso; 2. Congestão grave do canal com um elevado número de veículos; 3. Priorização e Seleção de serviços; 4. Tempestade de radiodifusão e problemas do nó oculto.
Comunicação V2V	Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta eficiência espectral; 2. Alta eficiência energética; 3. Agendamento eficiente em recursos D2D. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil implementação e baixo custo; 2. Modo <i>Ad-Hoc</i>; 3. A sobrecarga de mensagens WSMP é baixa.
	Desafios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interferência entre o par D2D e outros utilizadores; 2. Par e descoberta de recursos em tempo útil; 3. Alta velocidade dos veículos degrada seriamente o desempenho. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto Piloto disperso; 2. Congestão grave do canal com um elevado numero de veículos; 3. Vazamento da banda adjacente na operação multicanal; 4. Tempestade de radiodifusão e problemas do nó oculto.

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens das diferentes tecnologias relativamente aos modos de comunicação (Adaptada de [15])

As redes LTE na comunicação V2I são capazes de fornecer uma ampla área de cobertura, por exemplo, pode suportar até 1200 veículos por célula em ambientes de macro células urbanos ou rurais com um atraso no *uplink* de 55ms e uma CAM por segundo. Esta tecnologia tem a capacidade de fornecer uma taxa de dados de 10Mbps com uma velocidade superior a 140 km/h. Além disso fornece mecanismos robustos para a gestão de mobilidade [20]. Como referido no ponto 2.3.2 da dissertação fornece uma capacidade de *uplink* até 75Mbps na Rel 8 e até 1Gbps para LTE-Advanced Rel11 e de *downlink* até 150Mbps com uma largura de banda de 20 MHz e consegue suportar vários veículos que se desloquem a uma velocidade de até 350 km/h [15]. O sistema LTE é caracterizado por uma arquitetura plana com um número reduzido de dispositivos de rede, devido à sua arquitetura o LTE pode proporcionar um tempo de ida e volta inferior a 10ms e a latência máxima de transmissão na RAN de até 100 ms, isto é especialmente benéfico para aplicações sensíveis a atrasos [16]. O eMBMS (serviço de difusão e multi-difusão) é uma forma eficiente de oferecer suporte a serviços de difusão seletivos

em ambientes de alta densidade. No entanto, existem ainda vários problemas que necessitam de ser resolvidos para que os sistemas LTE possam ser amplamente utilizados nas comunicações V2I. A camada MAC do LTE não possui mecanismos de agendamento eficientes para o mapeamento adequado dos recursos de tráfego de veículos para o QCI (Identificador de QoS) existente e /ou uma nova definição de QCI. Quando o eMBMS é utilizado para transmitir mensagens de serviços veicular, a sobrecarga de sinalização resultante dos procedimentos de assinatura e junção para serviços veicular, multicast é excessivamente grande [15].

Na tentativa de utilizar o LTE para suportar as comunicações V2V, propôs-se as comunicações D2D, neste modo, os veículos próximos podem comunicar-se diretamente. As comunicações D2D no LTE enfrentam alguns desafios, nomeadamente as interferências, visto que, as ligações D2D partilham os mesmos recursos rádio com outras ligações na rede LTE. Outra lacuna na utilização do modo D2D é antes que dois veículos se possam comunicar diretamente, eles necessitam de descobrir a existência do seu par, o que é um procedimento demorado, e desadequado por exemplo para travagens bruscas. A maioria dos dispositivos D2D em sistemas LTE geralmente são estáticos ou de mobilidade com baixa velocidade, pelo contrário os veículos circulam com velocidades médias e altas, o que se torna uma desvantagem na aplicabilidade do modo D2D nas comunicações V2V em HetVNET [21].

A tecnologia DSRC revelou ser mais adequada para comunicações V2V, é uma tecnologia que suporta aplicações seguras e não seguras. As comunicações V2V utilizam uma abordagem descentralizada, na qual a rede é autónoma e não necessita de infraestrutura externa para se organizar, reduzindo desta forma os custos de implementação. As comunicações V2V baseadas em DSRC não interferem com as redes moveis devido ao uso de diferentes bandas de frequências. No entanto existem ainda alguns desafios para o uso de V2V num ambiente com elevada densidade veicular, as colisões no canal são bastante frequentes devido à limitação do mecanismo CSMA utilizado na camada MAC, que deteriora significativamente o desempenho do canal [15].

Capítulo 3

Condução Autônoma

3.1 Origem da Condução Autônoma

A origem na pesquisa de veículos autônomos remonta a 1977, quando o TMEL (*Tsukuba Mechanical Engineering Lab*) no Japão construiu o primeiro veículo inteligente do mundo que seguia linhas brancas de uma estrada, conseguindo alcançar velocidades até 30Km/h [22].

A condução autônoma é suportada por veículos autônomos, considerados como veículos que se movem sem intervenção humana, interpretando o meio que os rodeia, e recorrendo a diversas tecnologias, como RADAR (*Radio Detection And Ranging*), LIDAR (*Light Detection And Ranging*), GPS, Odometria e Visão Computacional). Estes veículos são capazes de adaptar a sua condução em frações de segundos [23]. Os veículos autônomos encontram-se equipados com sistemas de condução autônoma e são descritos na literatura como “autônomos”, “sem motorista”, “robótico” ou “auto conduzido”. A SAE Internacional (antiga Sociedade de Engenheiros Automóveis) especifica 5 níveis de condução autônoma, e a Administração Nacional de Segurança de Trânsito nos EUA adaptou este sistema recentemente. Os 5 níveis de automação classificam-se da seguinte forma:

Nível 0 – Sem automação: a condução do veículo depende da intervenção humana em tempo integral, para todos os aspetos de condução;

Nível 1 – Assistência ao Motorista: o sistema, por vezes auxilia com tarefas específicas, como a escolha da direção ou aceleração e desaceleração, com o condutor humano realizando as restantes tarefas;

Nível 2 – Automação Parcial: o sistema executa tarefas, tais como escolha da direção juntamente com aceleração e desaceleração, sendo os humanos responsáveis pelas restantes tarefas;

Nível 3 – Automação Condicional: o sistema gere todas as tarefas e monitoriza o ambiente de condução, sendo que o ser humano só intervém quando o sistema requer assistência;

Nível 4 – Automação Elevada: o sistema conduz e monitoriza determinados ambientes e condições sem intervenção humana e é considerado totalmente autônomo em certos cenários, mesmo que o condutor humano não responda adequadamente a um pedido de intervenção;

Nível 5 – Automação Completa: o sistema faz tudo o que um motorista humano faz em todas as condições, combinando ou excedendo as capacidades de um humano em cada cenário de condução [24].

Entre 1987 e 1995, a comissão Europeia financiou o projeto *EUREKA Prometheus* (EPP), um programa de investigação dedicado ao desenvolvimento de veículos autônomos. Os veículos autônomos VaMP e VITA-2, desenvolvidos por uma equipa de engenheiros da Universidade Federal das Forças Armadas Alemãs em Munique em colaboração com a Mercedes-Benz, foram apresentados, em 1994, no decorrer da apresentação final do projeto EUREKA em Paris. Estes veículos usaram visão

dinâmica para detetar objetos em movimento e foram capazes de evitar e ultrapassar outros carros na via pública. No total percorreram mais de 1000 km com trânsito caótico e numa autoestrada com três faixas, atingindo a velocidade de 130km/h. Um ano mais tarde, um modelo da Mercedes-Benz, desenvolvido pela mesma equipa, efetuou um percurso ida e volta desde Munique até Copenhaga excedendo a velocidade de 177km/h de velocidade e completando o trajeto com 95% de condução autónoma.

O projeto italiano ARGO, desenvolvido entre o ano de 1996 e 2001, concebeu veículos que eram capazes de seguir faixas brancas numa autoestrada modificada. Um dos veículos resultantes deste projeto é o Lancia Thema que após modificações, conseguiu atingir uma velocidade média de 90 km/h com 94% de condução autónoma. O veículo estava equipado com apenas duas câmaras a preto e branco, e usava algoritmos de visão estereoscópica para seguir o trajeto pretendido. A habilidade impressionante demonstrada na área dos veículos robóticos terrestres despoletou o interesse mundial e o aumento da pesquisa científica nessa área, incluindo os projetos “DEMO” da DARPA (uma organização de investigação do departamento de defesa dos EUA). Estes projetos focavam-se no desenvolvimento de veículos capazes de navegar por terrenos hostis e providenciar o conhecimento e experiência inicial no campo da robótica automobilística.

A DARPA, uma organização de investigação, centralizada na criação e desenvolvimento de tecnologias para fins militares, lançou, em 2004, o DARPA *Grand Challenge*, uma competição criada para incentivar a investigação e o desenvolvimento em veículos autónomos. Para a DARPA, todas as tarefas perigosas devem ser realizadas por uma máquina em vez de um ser humano, de modo a proteger os soldados e permitir que os esforços humanos sejam empregues de forma mais eficiente, sendo esta a filosofia que fundamentou todo o investimento efetuado pelo governo dos EUA na área da condução autónoma.

Aproveitando o sucesso do *Grand Challenge*, a DARPA organizou, em novembro de 2007, um evento chamado *Urban_Challenge*, a primeira competição de condução autónoma em que veículos tiveram que interagir, com ou sem condutor, num ambiente urbano. O evento requeria que as equipas desenvolvessem um veículo autónomo capaz de se mover em tráfego congestionado, efetuando manobras complicadas em cenários de interseções e de cedências de passagem, e em estacionamento. A viagem envolvia um trajeto de 96 km ao longo de uma área urbana em que os veículos autónomos tinham que obedecer às regras de trânsito, evitar outros carros na estrada que partilhavam a mesma via. De todas as 35 equipas de todo o mundo, apenas 6 conseguiram terminar a prova com uma velocidade média de 20km/h [22].

A evolução da tecnologia tem permitido melhorar a capacidade dos sensores e dos sistemas de processamento de dados, o que permite ampliar os automatismos. O objetivo agora é chegar à condução totalmente autónoma, que dispensa na totalidade o condutor humano.

Contudo, de acordo com a maioria das marcas automóveis associadas a esta temática, ainda é necessário esperar que a tecnologia “amadureça” e que os testes que já se encontram a ser realizados demonstrem fiabilidade na condução autónoma. Este acumular de experiências é fundamental para levar as autoridades a criar legislação que permita a chegada dos carros autónomos ao mercado [25].

3.2 Módulos Essenciais para a Condução Autônoma

Recentemente, a indústria automóvel tem privilegiado o desenvolvimento de veículos mais seguros e confortáveis, o que estimula a procura de novos veículos inteligentes com controlo de condução autónoma.

Um veículo autónomo é um veículo com condução autónoma que tem a capacidade de perceber o ambiente ao seu redor e realizar o controlo e planeamento do caminho sem a necessidade de intervenção humana.

Em 2020, as multinacionais, *General Motors*, *Volkswagen*, *Toyota* e *Google* esperam vender veículos autónomos, e em 2035, prevê-se que 25% dos veículos que circularão nas estradas serão autónomos, beneficiando da cooperação de veículo-para-veículo.

Um veículo de condução autónoma está equipado com um módulo de comunicação apropriado, por exemplo, com comunicação DSRC e LTE, que suporta a troca de informação em tempo real entre veículos vizinhos, e entre veículos e estações de base. Além do módulo de comunicação, existem outros cinco módulos básicos que são necessários para apoiar a condução autónoma: a perceção, a localização, o planeamento, controlo e gestão do sistema [26].

A perceção é o processo que deteta o ambiente envolvente em torno do veículo autónomo, utilizando vários tipos de técnicas, tais como RADAR, LIDAR e computação visual que permitem a recolha de informação.

O módulo de localização é implementado com o objetivo de encontrar a posição exata do veículo autónomo na estrada, utilizando o GPS (Sistema de Posicionamento Global), estimativas e mapas de estrada.

A função de planeamento determina o comportamento e movimento de um ADV (veículo de condução autónoma), com base nas informações obtidas através dos módulos de perceção e localização (Figura 9). Esta função planeia as rotas para cumprir a missão de viagem considerando tempo de viagem, distância e condição de tráfego.

O módulo de controlo é responsável pela execução dos comandos desejados pelo módulo de planeamento/gestão, controlando os atuadores, como por exemplo, direção, aceleração e travagem de um ADV.

O módulo de gestão orienta comportamentos de condução, tais como mudança de faixa, comportamento a ser realizado numa interseção e comportamento de estacionamento, com base nas informações de trânsito e informação interna do veículo, a partir da função de perceção, enquanto segue a navegação a partir da função de planeamento. O módulo de gestão do sistema, tem também como função supervisionar o estado geral do sistema de um veículo autónomo, como por exemplo, a gestão de falhas, sistemas de *login* e interface homem-máquina (HMI) [27].

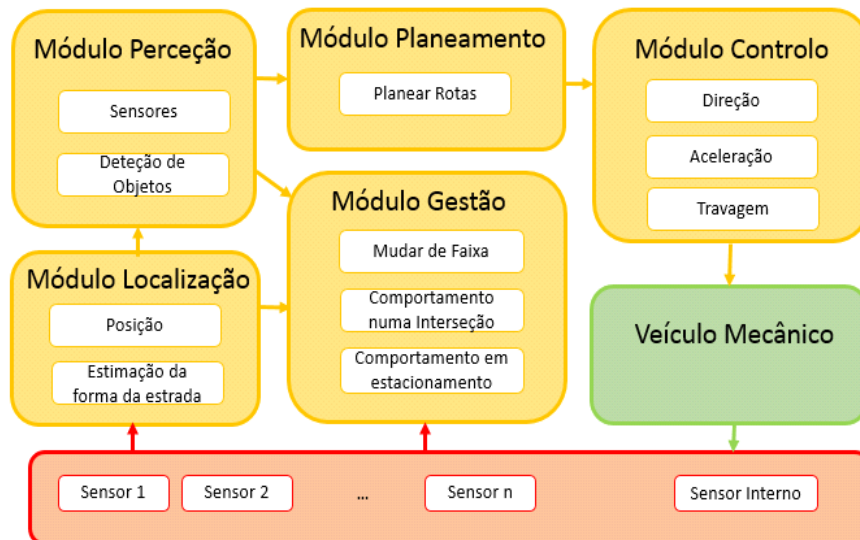


Figura 9: Módulos típicos para a condução autónoma (Adaptada de [27])

As aplicações de ADC (controlo de condução autónoma) são responsáveis pelo controlo e gestão dos ADVs (veículos de condução autónoma). A camada de mensagens ADC (ADCMs) é utilizada para suportar essas aplicações. Conforme ilustrado na Tabela 5, os ADCMs podem ser categorizados em dois tipos: PSMs e ATMs.

As PSMs são mensagens periódicas, utilizadas principalmente para indicar a informação acerca do estado do veículo, como posições e trajetos de viagem. Estas informações são recolhidas pelos veículos autónomos vizinhos para estimar os fatores de segurança antes de se tomar qualquer ação, sendo também transmitidas para as estações de base. Com base nas PSMs, o centro de serviços analisa os dados e reúne estatísticas acerca do fluxo do tráfego. Por sua vez, as ATMs são mensagens acionadas por uma ação, estas incluem o conteúdo da ação dos ADVs, que podem ser utilizadas para a tomada de decisão no próximo momento. Só através destas mensagens é que o veículo pode saber exatamente o movimento dos outros veículos. Desta forma, pode tomar a decisão mais apropriada de forma autónoma e, em seguida, enviar o seu estado de mudança para outro veículo.

Tipo de Mensagens	Conteúdo das Mensagens	Exemplos
PSMs	Posição	Exemplo1. Quando ADVs circulam na estrada, precisam transmitir as PSMs em intervalos apropriados. Exemplo2. Quando qualquer ADV não se encontra em correto funcionamento, este precisa transmitir mensagens de mau funcionamento para ADVs próximos, a fim de estes manterem uma certa distância de segurança.
	Direção	
	Velocidade	
	Mau funcionamento	
ATMs	Mudar de faixa	Exemplo1. ADV 1 transmite ATMs para alertar os veículos vizinhos da sua intenção de ultrapassar, antes de ultrapassar. Exemplo 2. Quando um veículo de emergência entra num segmento rodoviário, é necessário transmitir ATMs para outros ADVs lhe forneçam prioridade
	Ultrapassar	
	Travar	
	Aviso de veículo de Emergência	

Tabela 5: Tipo de mensagens de controlo autónomo (Adaptada de [26])

Apesar dos desenvolvimentos verificados, existem ainda vários desafios aos quais a condução autónoma deve dar resposta, tais como:

- Ter conhecimento da posição exata do veículo e decidir como chegar ao destino;
- Detetar de forma eficiente o ambiente circundante para evitar a colisão do veículo;
- Detetar os sinais de trânsito, travessias, passadeiras, colisões etc [26].

Atualmente, para enfrentar estes desafios, além dos sensores utilizados no módulo de perceção, um novo “sensor” de longo alcance, a comunicação V2X, permite novos níveis de condução autónoma [28].

A comunicação V2X (Veículo-para-Tudo), também conhecida como *Cooperative Connected Vehicles* e *Cooperative ITS*, engloba os veículos que trocam dados entre si e com a infraestrutura, com o objetivo de melhorar a segurança rodoviária, aumentar a eficiência do tráfego, reduzir os impactos ambientais e fornecer serviços adicionais aos ocupantes do veículo.

As comunicações V2X são de quatro tipos: V2V (*Vehicle-to-Vehicle*), V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), V2N (*Vehicle-to-network*) e V2P (*Vehicle-to-pedestrian*). A Figura 10 ilustra essas tipologias. Está implícito que estas comunicações são geralmente bidirecionais, isto é, por exemplo as comunicações V2I e V2N envolvem também o envio de mensagens da infraestrutura para os veículos.

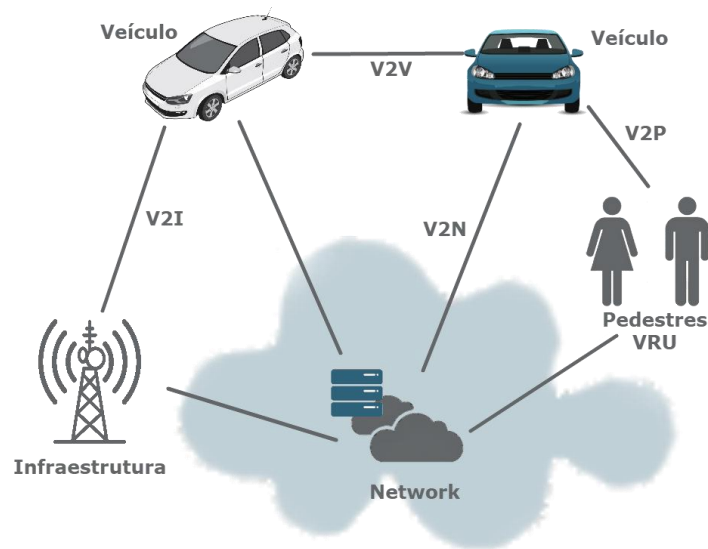


Figura 10: Tipos de Comunicação V2X (Adaptada de [28])

As comunicações V2V e V2P baseiam-se essencialmente na capacidade de transmissão entre veículos ou entre veículos e utentes vulneráveis da estrada (por exemplo, pedestre, ciclista), com o objetivo de fornecer informações sobre a localização, velocidade e trajeto para evitar acidentes.

A comunicação V2I ocorre entre um veículo e um RSU. Este tipo de comunicação pode incluir a comunicação entre veículos e dispositivos de controle de tráfego, e nas proximidades de trabalhos rodoviários.

A comunicação V2N ocorre entre um veículo e um servidor de aplicação V2X, esta comunicação pode incluir a comunicação entre o veículo e o servidor via rede 4G / 5G, como para operações de tráfego.

As tecnologias utilizadas pela V2X incluem a WAN tradicional (Wireless Access Network) e as comunicações *Wi-Fi*, bem como o WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*), baseado na DSRC para as camadas mais baixas e, nas comunicações moveis como é o exemplo do LTE.

A comunicação V2X permitir a partilha automática de informação em tempo real entre os utentes da estrada, promete melhorar significativamente a segurança rodoviária e minimizar os poluentes e combustível, bem como maximizar o uso eficiente das estradas e outras infraestruturas de transporte.

Por exemplo, os veículos e os seus ocupantes podem ter conhecimento das fases do sinal de trânsito, das zonas de trabalho rodoviário e dos perigos da estrada. Algumas dessas informações já estão disponíveis, como por intermédio de aplicações móveis. A comunicação V2X iria fornecer, no entanto, ainda mais informações, como diversas opções adicionais aos motoristas e veículos, que os sistemas de hoje não podem suportar. Outro exemplo, é permitir que municípios comuniquem aos veículos com as vagas de estacionamento disponíveis, por forma a reduzir o tráfego, evitando que os motoristas circulem sem parar no mesmo local a fim de obter um lugar de estacionamento, aumentando o congestionamento.

As comunicações V2X podem ser vistas como outro sensor no veículo. Enquanto outros sensores ativos como o RADAR, o LIDAR e o *Computer Vision* estão ativamente verificando o ambiente ao redor do veículo autônomo, o sensor sem fio V2X, com capacidade quando não existe linha de visão, está ativamente "ouvindo" e também "conversando" com outros carros para perceber melhor o que está a acontecer em torno do veículo, recolhendo também informação sobre a intenção do condutor.

Outro benefício dos serviços V2X é que estes permitem a comunicação entre os ocupantes do veículo e o seu ambiente. Isto dá aos ocupantes acesso aos seus próprios dados e meios de comunicação e acesso à Internet no automóvel, o que permite uma vasta gama de novas aplicações e serviços [28].

Um carro robótico requer uma gama de tecnologias de sensores e comunicação V2X, sendo que todas estas tecnologias têm diferentes alcances de visão, e cada tecnologia tem um propósito dedicado que é comparável a um ou mais dos 5 sentidos humanos. O principal "sentido" de um carro robótico é o LIDAR, um processo baseado em laser que deteta objetos no ambiente próximo do carro, fornecendo informações de alta resolução sobre o ambiente em redor do carro. A importância deste sistema vem da sua precisão, possível até um intervalo de 100 metros, da sua capacidade de rotação de 360° e das mais de dois milhões de leituras por segundo. O segundo sentido de um carro robótico é o GPS, que permite a localização aproximada do carro, sendo que esta localização serve de base para sistemas de navegação. Embora seja uma tecnologia avançada, a precisão do GPS é insuficiente para a próxima geração de carros com condução autônoma, no melhor dos casos o GPS atinge uma precisão de 5 m. No entanto, a condução autônoma requer uma precisão ao nível do centímetro. Esta necessidade de precisão significa que o carro necessita de sentidos adicionais que têm de ser fundidos, a fim de fornecer uma imagem em tempo real de alta resolução do ambiente.

Além da localização de alta precisão, as comunicações V2I e V2V fornecem informações adicionais que aumentam o alcance de percepção do ambiente circundante até 1 km [29].

Em ambientes veiculares complexos, os veículos de condução autônoma, necessitam de ter uma compreensão aprofundada do seu ambiente circundante para tomar decisões cooperativas de condução e agendamento do caminho.

Cada veículo autônomo pode partilhar mensagens, tanto localmente para segurança de tráfego, como globalmente para eficiência do tráfego. Conforme ilustrado na Figura 11 a cooperação pode ser dividida em duas escalas: cooperação de pequena escala e cooperação de grande escala.

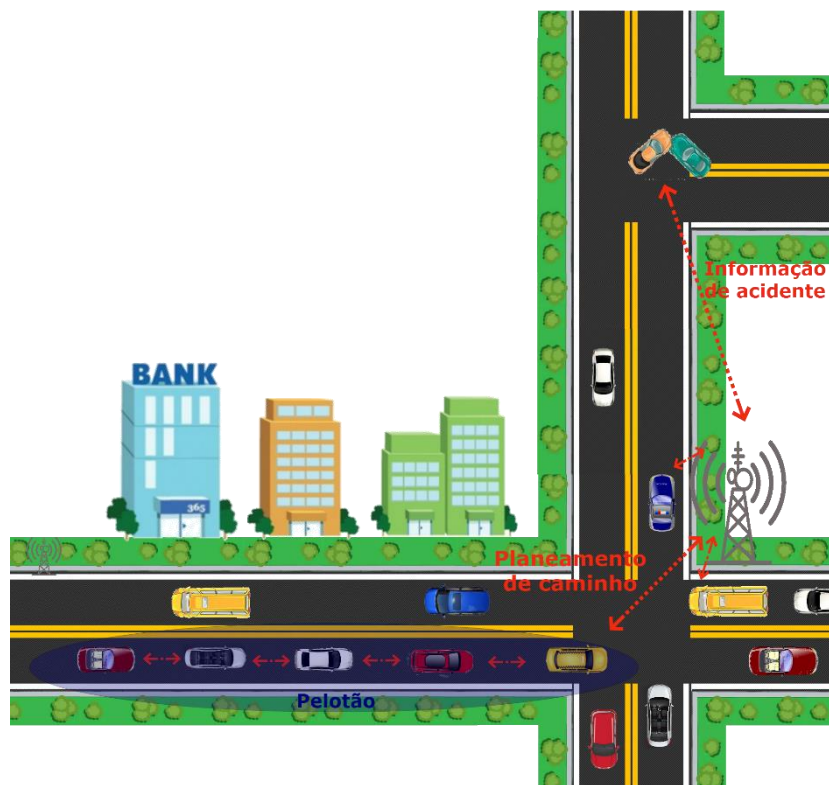


Figura 11: Cenário de condução autônoma cooperativa (Adaptada de [26])

Na cooperação em pequena escala, os objetivos principais são garantir a segurança do tráfego através da cooperação entre veículos na área local. Essa cooperação é implementada de forma distribuída, o que reduz significativamente a sinalização entre veículos.

A cooperação em larga escala visa divulgar informações sobre uma grande área geográfica para melhorar a eficiência do tráfego. Além disso, algumas funcionalidades, tais como a previsão do percurso e as capacidades de programação dos veículos envolvidos, podem ser alavancadas quando o congestionamento do tráfego próximo é detetado antecipadamente, através da cooperação em larga escala. Diferentemente da cooperação em pequena escala, a cooperação em larga escala é executada de forma centralizada através da ligação V2I. Primeiro, o servidor da nuvem coleta informações como as condições da estrada, congestionamento do tráfego inesperado, condições climáticas adversas e densidade do tráfego e em seguida, calcula os resultados correspondentes para as diferentes aplicações. Existem algumas funções para apoiar a cooperação em larga escala, por exemplo o planeamento da trajetória ideal, a previsão do tráfego rodoviário e a ação de emergência de acidentes [26].

3.3 Nuvem Computorizada

Estima-se que um veículo conectado envie para a nuvem cerca de 25 GB de dados por hora, a informação transmitida corresponde às rotas do veículo, velocidade, desgaste dos componentes e condições da estrada [30]. A nuvem remota (RC) foi proposta como uma solução viável com o auxílio

de técnicas de descarga sobre a transmissão sem fio de alto débito. A nuvem fornece abundantes recursos de comunicação e computação para garantir a segurança e a eficiência do tráfego de um ADV.

Os veículos com condução autónoma estão cada vez mais populares e espera-se num futuro próximo milhares de ADVs presentes nas estradas, e como consequência a geração de grandes quantidades de dados provenientes dos sensores. Sendo impraticável transmitir todas as informações de cada ADV sobre a ligação V2I, as ligações sem fios entre os ADVs e RC têm de ser eficientemente utilizadas.

Os dados gerados por ADVs tem correlação no domínio do tempo, sendo possível processar e comprimir os dados antes da transmissão através da ligação V2I. Por exemplo, quando os dados do sensor variam continuamente no tempo, aqueles que apresentam uma variação muito pequena podem ser omitidos. Uma característica é que os dados gerados apresentam interesses locais, o que significa que apenas ADVs nas vizinhanças são suscetíveis de desfrutar de interesses comuns, tais como congestionamento do tráfego local e mensagens de condição de estrada. Neste sentido, os dados com interesse comum podem ser mantidos localmente em vez de serem carregados para a RC, o que reduz os requisitos de capacidade de transmissão V2I.

A colaboração na partilha e processamento de dados, provenientes dos sensores entre ADVs, pode melhorar significativamente a precisão local e a segurança na condução. A VCC (computação em nuvem veicular) é uma tecnologia promissora que tira proveito da computação em nuvem para servir veículos. A nuvem veicular pode fornecer uma boa plataforma para implementação coordenada das aplicações de agregação de sensores, fusão e partilha do conjunto de dados necessários aos ADVs. Os ADVs podem ampliar a cobertura de deteção, agregando os dados distribuídos geograficamente, logo uma arquitetura de computação em nuvem em camadas para ADVs pode ser implementada como uma solução viável. Os ADVs podem enviar solicitações de condução ou entretenimento para qualquer camada em nuvem [26].

No ano de 2014, a parceria entre a Volvo e a Ericsson apresentou pela primeira vez a sua nova linha de carros. Os carros estão completamente conectados, não apenas à internet, mas a um sistema num servidor na nuvem, que permite aos veículos comunicar entre si, sem a intervenção do motorista. Segundo Bendrik, diretor financeiro da Volvo, empresa sueca que é conhecida por ter os carros mais seguros do mundo, “*Todos os nossos carros são conectados. Quando conectados à nuvem eles trazem mais vantagem para o motorista e para as pessoas ao redor, além de mais segurança*”. Os carros apresentam conexão, via aplicações de internet, ao comércio eletrónico, aos serviços, a aplicações internas no carro e comunicam com as aplicações do ocupante do veículo, como o *Waze* [31].

Waze é uma aplicação de navegação GPS, 100% móvel, gratuita, inteligente e muito eficaz. É uma mistura de rede social e GPS, sendo o ponto forte do *Waze* o facto de ser um serviço capaz de gerar, em tempo real, uma visão geral do tráfego como um todo, desde carros, engarrafamentos, camiões quebrados, acidentes. Quando um serviço é executado no *smartphone*, os utilizadores ajudam os programadores a aperfeiçoar as rotas [32].

Em 2015, *Google* e *Apple*, elevaram o padrão de conectividade a outro nível, tendo desenvolvido versões automóveis – *AndroidAuto* e *CarPlay* – dos seus sistemas operativos (Android e iOS, respetivamente) para as centrais multimédia veiculares. A partir deste momento, passou a ser possível

conectar o *smartphone* a esses programas, e aceder, por intermédio da central, a aplicações do dispositivo móvel, além de oferecer outras funções, como ouvir e ditar mensagens de texto.

Até esta dada, já era possível conectar dispositivos a sistemas do carro, no entanto ainda se encontrava em aberto a conexão a outros meios, como as estradas inteligentes e carros. Desta forma, seria formada uma grande rede de dados, cujo ponto fundamental é o sistema de armazenamento em nuvem, através do qual os dados podem ser acedidos em qualquer lugar. Só assim, seria possível a interligação e a troca de informações, de modo a obter a rota ou o modo de condução que permitirá a redução de acidentes e congestionamentos, já que o fluxo das estradas será ajustado em tempo real. A título de exemplo refere-se o *DriveMe*, que é um programa de carros autónomos que a Volvo tem vindo a testar, no âmbito da procura de soluções de conectividade numa frota de 1.000 veículos em dois países, Suécia e Noruega [33].

Em janeiro de 2017, a Microsoft anunciou uma nova plataforma na nuvem virada para o setor automóvel, *Microsoft Connected Vehicle Platform*. Esta plataforma vai ajudar os fabricantes que querem utilizar a nuvem para alimentar os seus próprios serviços. Segundo Peggy Johnson, vice-presidente de desenvolvimento de negócios da Microsoft, “*Este não é um sistema operativo de carro ou um ‘produto acabado’*. *É uma plataforma ágil e viva que começa com a nuvem como a fundação e visa abordar cinco cenários principais que os nossos parceiros nos disseram que são prioridades-chave: manutenção preditiva, melhoria da produtividade no carro, navegação avançada, insights do cliente e ajudar a construir soluções autónomas capacidade de condução*”. A Microsoft trabalha em parceria com a Renault e com a BMW em projetos para integrar os serviços em nuvem [34].

A nuvem da Microsoft fará o trabalho “pesado” ao receber grandes volumes de dados de utilização dos sensores de carros conectados, o que permitirá então ajudar as empresas automóveis a aplicar esses dados de forma poderosa. Os serviços inteligentes da Microsoft, pretendiam ainda nesse ano, incluir assistentes virtuais, aplicações de negócios, serviços de escritório e ferramentas de produtividade como Cortana, Dynamics, Office 365, Power BI e Skype for Business [35].

Em março de 2017, empenhadas na expansão do 5G, a Telefónica e a Vodafone apresentaram, no MWC (*Mobile World Congress*), os seus carros conectados por telemóveis. A Vodafone, em parceria com a Huawei e a Audi, demonstrou a tecnologia C-V2X (*Cellular Vehicle-to-Everything*), que permite a conexão entre carros, de carros com pessoas e com a infraestrutura veicular. A demonstração foi feita na pista de corrida do Circuito de Barcelona-Catalunha, com o veículo Audi desenhado pelo Instituto Europeu de Desenho de Turin, em conjunto com a *Quattroroute*. Os passageiros do veículo presenciaram manobras do motorista em quatro situações. A transmissão de vídeos de um veículo à frente, o que ajuda o condutor em situações que necessitam de mais visibilidade como obstáculos na faixa de rodagem e próximas saídas nas estradas. Foi mostrado também o alerta de semáforo prestes a mudar de cor, que permite melhor previsão de quando reduzir a velocidade; e o alerta sobre um pedestre atravessando a rua, mesmo antes que ele fique visível para os sensores ou para o motorista. Os passageiros conheceram ainda o uso de um algoritmo que determina se há risco de outros veículos conectados avariarem subitamente ou mudarem de faixa.

A Telefónica também apresentou a sua proposta de conexão celular para veículos, desenvolvida em parceria com a Ericsson. A demonstração foi realizada por controle remoto, a partir de um

espectro de alta frequência (15GHz). A companhia mostrou que o condutor tem uma percepção sensorial fiel à realidade, graças a vídeos em alta definição 4 K. Enrique Blanco, CTO da companhia, explicou que foi a primeira experiência do tipo em tempo real, “*comprovando o poder das redes 5G, cuja capacidade de transmissão de dados em baixa latência abre novas possibilidades de evolução para o setor automóvel*” [36].

3.4 Perspetivas Futuras

A evolução na área da condução autónoma tem sido progressiva, segundo empresa a Delphi (Figura 12), desde o ano 1959 até 2016, em que o primeiro passo foi a introdução do sistema *cruise control* no veículo, sistema que mantém a velocidade programada sem que o motorista pressione o acelerador, passando posteriormente pela exibição de conteúdo no display, deteção de sistemas de colisão e pedestres e mais recentemente o desenvolvimento de sensores do ambiente circundante e tipos de comunicação avançada (V2X), sendo que o futuro desta área se direciona para pontos importantes como segurança rodoviária e informática, privacidade, ética e saúde pública, e legislação.

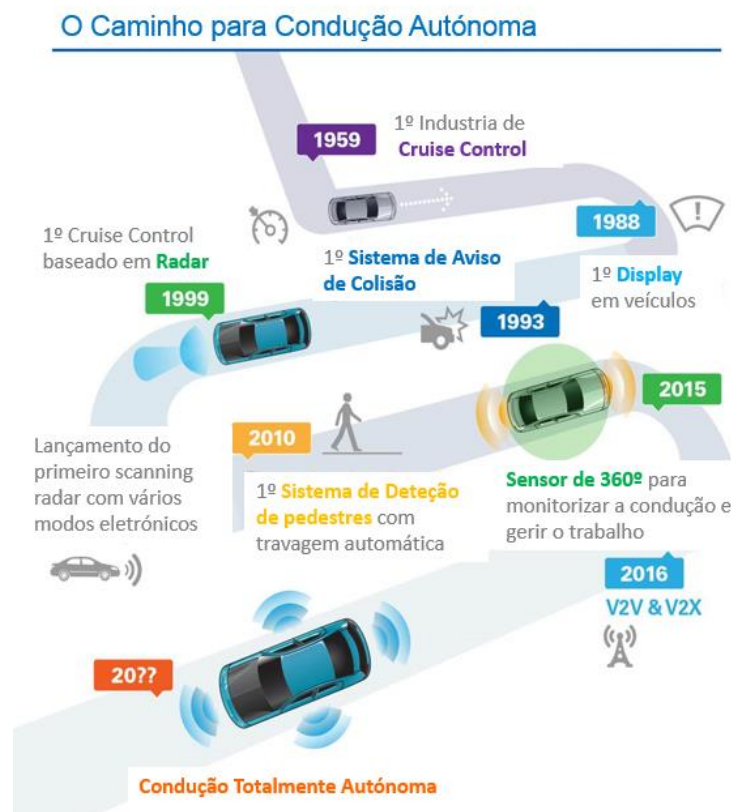


Figura 12: Evolução histórica da Condução Autónoma (Adaptada de [37])

Em abril de 2017, a Bosch apresentou em Berlim o *Bosch Connected World*, um computador de bordo com inteligência artificial e capacidade de aprendizagem, que será o cérebro dos veículos autónomos do futuro.

O computador de bordo com IA poderá conduzir veículos autônomos em situações de trânsito complexas ou situações novas para o veículo, devido às suas capacidades de aprendizagem. Segundo Volkmar Denner, CEO da Bosch, na conferência internacional da indústria sobre Internet das Coisas, *“Estamos a ensinar o automóvel como agir por conta própria no trânsito”*. Os veículos que utilizam sensores Bosch para monitorizar o que os rodeia e, com a inteligência artificial, poderão interpretar essas leituras e fazer previsões sobre o comportamento dos outros utilizadores da estrada. *“A condução autónoma torna as estradas mais seguras, e a inteligência artificial é a chave para que isso aconteça. Estamos a tornar os automóveis inteligentes”*, continua o CEO da Bosch. Para construir o núcleo do computador de bordo, a Bosch vai colaborar com a empresa tecnológica norte-americana Nvidia, que vai fornecer um chip que armazena algoritmos gerados com métodos de aprendizagem mecânicos. Espera-se que o computador de bordo com IA entre em produção até ao início da próxima década.

A unidade da Bosch em Braga tem sido uma das mais ativas na investigação e desenvolvimento de soluções de conectividade na área automóvel. Com o contributo desta unidade, em 2020, o piloto automático da Bosch estará pronto para a produção tornando a condução autónoma uma realidade [38].

No decorrer de 2017 e 2018, os veículos de condução autónoma serão testados em ambiente real em três cidades europeias, Lisboa, Madrid e Paris. Este projeto, intitulado AUTOCRIS, pretende testar a condução autónoma nessas cidades europeias, mais especificamente nas suas áreas metropolitanas.

O AUTOCRIS pretende facilitar a circulação deste tipo de veículos através do desenvolvimento de sistemas inteligentes baseados em C-ITS (*Connected and Automated Driving*), que permite a comunicação e o intercâmbio seguro de dados entre veículos, utilizadores e infraestruturas, utilizando o standard das comunicações europeias ITS-G5.

Em Lisboa, as experiências deverão ocorrer nas Avenidas Marginal e Brasília, duas vias que ligam a cidade de Lisboa à autoestrada A36. O projeto contempla a conjugação de conectividade móvel e a automatização, *“centrando-se especialmente na segurança rodoviária e nas alterações necessárias na infra-estrutura e nos centros de controlo de tráfego”*. Um dos objetivos é ajustar as regras de trânsito ao novo paradigma, garantindo a convivência segura dos carros autônomos com os restantes veículos e a sua correta circulação em todo os tipos de estradas nos diferentes países europeus [39].

Segurança Rodoviária

Segundo uma notícia lançada pelo Diário de Notícias em novembro do ano passado (2016), verificou-se a morte de dois indivíduos em acidente com carro autónomo da Tesla S. O sistema modelo S da Tesla já tinha verificado alguns acidentes, no entanto este foi o primeiro acidente grave com vítimas. A Tesla lamentou a perda de vidas no acidente e afirmou que estava a investigar a causa para este acontecimento, no entanto levantou algumas dúvidas sobre o facto de a viatura estar no modo de condução automática. A empresa explica que caso o veículo se encontrasse no modo de condução autónoma, a velocidade seria automaticamente limitada a 56 km/h na rua onde se verificou o acidente,

no entanto o veículo não praticava estas velocidades, o que levantou algumas dúvidas sobre se o mesmo estaria de facto nesse modo de condução [40].

Com o intuito de perceber estas afirmações, vejamos algumas características do Tesla S: este modelo inclui um *AutoPilot*, a tecnologia mais próxima da condução autónoma que existe no mercado. Mantém a distância relativamente ao carro da frente e mantém o carro na faixa de rodagem numa autoestrada (controlo automático do volante, do travão e do acelerador); o *AutoPilot* é também capaz de mudar de faixa. Mas o mais importante, é que o sistema Tesla S tem a capacidade de aprender com o condutor e vai ficando melhor à medida que os mapas digitais, que os próprios carros ajudam a criar, ganham definição [25].

Em março deste ano, um carro sem condutor da Uber (Volvo SUV) teve um violento acidente, este não causou feridos nem danos graves. O veículo autónomo da Uber e o de outro condutor colidiram num cruzamento, onde o segundo não cedeu passagem ao carro da Uber.

Em 2016, outras empresas tiveram acidentes com carros sem condutor, como é o caso da Google que registou mais de 15 acidentes não graves [41].

A questão que se coloca e que estará em análise no desenvolvimento de veículos autónomos é: se iremos beneficiar de melhorias na segurança rodoviária nos próximos anos, com a introdução de veículos autónomos?

Atendendo a que 90% dos acidentes rodoviários resultam de falhas humanas, caso se elimine esta componente é expectável que se reduza drasticamente o risco associado. No entanto, os acidentes recentemente verificados com veículos autónomos vieram levantar algumas dúvidas sobre a sua segurança efetiva. Relativamente ao primeiro acidente da Tesla S, Elon Musk (CEO da Tesla), rapidamente reagiu indicando que só no *“ano passado (2015) morreram 1 milhão de pessoas na estrada. Caso o piloto automático estivesse disponível em todos os carros, o número de mortos teria sido menos de metade, permitindo salvar cerca de meio milhão de pessoas”* [23].

Segurança Informática

Um jornalista da Wire, Andy Greenberg, realizou uma experiência conduzindo um jeep Cherokee, através da qual pretendeu estudar a segurança cibernética de um veículo. Com o auxílio de dois pesquisadores sediados em St-Louis, que foram os “hackers”, Andy conduzia o veículo, enquanto os pesquisadores manipularam o sistema computadorizado do veículo, começando no ar condicionado e na música (sistema de entretenimento) e terminando no bloqueio do acelerador, ficando o motorista sem controlo algum sobre o veículo. Andy mostrou com esta experiência o quão fácil é para um profissional experiente interferir com o sistema computadorizado de um veículo. Em 2016, a NHTA (Administração Nacional de Segurança de Transportes Rodoviários dos Estados Unidos), divulgou normas afirmando que a segurança informática dos veículos automóveis deve ser propriedade dos fabricantes [42].

A proteção contra “ataques” informáticos tornou-se um dos principais desafios para as indústrias automóveis e de segurança. Os veículos autónomos utilizam sensores, mapas, GPS e inteligência

artificial, para permitir o movimento autónomo. O problema inicia-se quando os hackers acedem remotamente ao veículo e comprometem os sistemas interligados, resultando em inúmeros riscos à privacidade e riscos físicos a pessoas e suas propriedades.

Os possíveis ataques podem ocorrer através de serviços menos protegidos, como os sistemas de entretenimento, o que permite aos criminosos acederem a redes internas do veículo para atingir sistemas mais sensíveis. Por exemplo, a comunicação entre o sistema de controlo do motor e o sistema de entretenimento é fundamental para se poder exibir alertas ao condutor.

Atualmente, conhece-se dois tipos de ameaças adaptadas aos veículos autónomos: *Ransomware* e *Spyware*. Na *Ransomware*, os hackers podem imobilizar o veículo e pedir ao condutor, através do *display* do veículo, um resgate para colocar o veículo novamente em operação normal. No *Spyware*, devido ao facto de os veículos recolherem grandes quantidades de dados e terem muita informação sobre o condutor, tal como destinos preferidos, trajetos, localização da residência e até mesmo onde moram os seus amigos, o veículo pode ser utilizado também numa série de transações eletrónicas, como por exemplo o pagamento automático. Um hacker pode esperar que o condutor se distancie para um local longínquo e vender essa informação a criminosos que poderão assaltar a casa.

Existem quatro medidas para as quais devemos estar atentos para proteger os veículos autónomos: a comunicação interna entre os sistemas do veículo, a comunicação externa, a infraestrutura de conectividade, sistemas de controlo de acesso e identidade de alta segurança.

A comunicação interna entre os sistemas do veículo é necessária para que se estabeleça a comunicação entre os sistemas, com vista a fornecer novos serviços que devem ser monitorizados e geridos perto de sistemas *firewalls* e sistemas de prevenção de invasão, que podem fazer a distinção entre a comunicação legítima e ilícita. Na comunicação externa, os sistemas integrados terão de comunicar com serviços baseados na Internet, por exemplo para atualizar o *software*, isto também significa que o tráfego de/para veículo terá que ser verificado e gerido quanto às ameaças e comunicações ilícitas, usando *firewalls* e capacidades semelhantes ao IPS. As infraestruturas de conectividade utilizadas por veículos, como as redes 3G e 4G, embora forneçam conectividade a milhares de milhões de *smartphones* e outros dispositivos do mundo todo, elas também apresentam segurança inconsistente.

Um ataque direcionado na rede móvel, ou através desta, pode iniciar falhas de segurança em milhares de veículos em circulação ao mesmo tempo.

Serão necessários sistemas de controlo de acesso e identidade de alta segurança apropriados, que permitam que os veículos autentiquem as conexões para os sistemas críticos e para que os serviços baseados na internet, autentiquem positivamente os veículos e as informações colocadas na nuvem, além das solicitações de transações que podem realizar para os proprietários [43].

Um levantamento recente feito pela seguradora Munich Re, referiu que 55% dos gerentes de riscos corporativos entrevistados apontaram a segurança cibernética como a principal preocupação para os veículos autónomos, sendo que 64% das empresas disseram sentir-se totalmente despreparadas para atender a segurança cibernética.

Os fabricantes têm investido milhares de euros no desenvolvimento de veículos autónomos, mas se não conseguirem manter os carros e os seus condutores seguros, será que teremos coragem

de adquirir um? A NHTSA pode não ter todas as respostas para as ameaças de segurança cibernética, desta forma os fabricantes dos veículos terão de encontrar uma potencial solução.

Privacidade

Atualmente, podemos percorrer qualquer destino continental anonimamente. Futuramente, o direito de navegar sem que se sabia para que destino nos estamos a dirigir tem um sentido restrito, uma vez que os trajetos percorridos pelos veículos autónomos ficarão registados num histórico reservado numa base de dados, e mesmo que apaguemos o histórico do nosso carro, com toda a certeza o controlo geral de tráfego saberá informar sobre os nossos passos.

No entanto, apesar da potencial perda de privacidade, esta medida tem um ponto positivo para a segurança pública, uma vez que nunca mais teremos de lidar com perseguições de carro, as soluções para crimes de roubos da viatura serão mais fáceis de detetar, e se saberá quem visitou determinado lugar a determinada hora. Para roubar carros, os novos ladrões terão que ser hackers eficientes também, capazes de apagar as informações do veículo da central de trânsito, por forma a eliminar os vestígios maliciosos no veículo [44].

Neste sentido a questão que se coloca é.... Mais privacidade ou mais segurança?

Ética e Segurança pública

A introdução e a potencial proliferação de veículos autónomos apresentam o desafio clássico de equilibrar a liberdade dos fabricantes privados de inovar, com a responsabilidade do governo de proteger a saúde pública. Apesar das potenciais vantagens ao nível da segurança rodoviária, a utilização dos veículos autónomos levanta muitas questões de saúde pública, desde preocupações sobre a maior utilização de automóveis e menos uso de alternativas mais saudáveis, como andar de bicicleta ou caminhar. Por outro lado, este tipo de veículos irá apresentar um efeito de diminuir drasticamente o congestionamento do tráfego e conseqüentemente serão muito menos poluidores e contribuirão para um ambiente mais saudável para as populações.

Os veículos autónomos apresentam conflitos éticos clássicos, entre os quais o interesse de um indivíduo e os interesses da comunidade. Cada indivíduo, pretende chegar rápido, de forma barata e segura ao seu destino, ao passo que a comunidade pretende, que as estradas sejam seguras para todos os viajantes, incluindo passageiros, condutor, ciclistas e pedestres [24].

Vejamus um estudo hipotético, publicado em junho de 2016, pela revista *Science American*, cujos investigadores responsáveis foram Jean-François Bonnefon, da Toulouse School of Economics em França, Azim Shariff da University of Oregon e Iyad Rahwan do Media Lab do MIT.

O cenário por eles apresentado foi o passeio de uma família no seu veículo autónomo, num cenário calmo e agradável, e que se depara com uma situação complicada: repentinamente, surge uma bola na estrada, e de imediato, uma criança corre para a apanhar. A questão que se coloca é a seguinte: deverá o seu veículo inteligente escolher a segurança da criança, guinando para a direita onde se

encontra um precipício e colocar-se a si e a sua família em risco de morte. Deverá colocar a sua segurança e dos seus em primeiro lugar, atropelando uma criança?

Este cenário representa um dos muitos dilemas éticos e morais que a condução autónoma está a colocar aos fabricantes de automóveis, compradores e à regulamentação. A maioria dos americanos, que fizeram parte deste estudo considerou que este tipo de veículos deveria ser programado para evitar magoar ou matar a criança, sacrificando o condutor. No entanto, existe outra questão ética que contribui para aumentar este dilema: se estariam interessados os condutores em comprar um carro que os sacrificasse e às suas famílias, ou se iriam preferir um outro modelo, auto protetor que colocasse as suas vidas em primeiro. Resumidamente, porque somos humanos, e preservamos a nossa vida, mesmo tendo consciência de qual a opção ética mais correta, os entrevistados optariam por salvar a sua própria vida [45].

Tal como o dilema acima mencionado, existem ainda muitos outros dilemas por responder, como por exemplo: é melhor matar dois passageiros de veículos autónomos ou dois pedestres? Uma pessoa ou um animal? Colidir com uma parede ou ir contra uma caixa com conteúdo desconhecido? Escolhas forçadas como essas devem ser programadas com algoritmos sofisticados. Um cientista da universidade do conselho de pesquisa do transporte de Virgínia indica que um veículo automatizado:

“Deve decidir rapidamente, com informações incompletas, em situações que os programadores muitas vezes não terão considerado, usando a ética que deve ser codificada demasiado literalmente no software. Felizmente, o público não espera sabedoria sobre-humana, mas sim uma justificativa racional para as ações de um veículo que considera as implicações éticas. Uma solução não precisa de ser perfeita, mas deve ser pensativa e defensável.”

Mas o que é necessário para que uma decisão seja eticamente defensável? [24]

Quem decide: a ética ou os dados?

Para Raj Rajkumar, que dirige o Cylab na Universidade de Carnegie Mellon e que é considerado como um dos mais reconhecidos especialistas na pesquisa dos veículos autónomos, tendo sido, o vencedor do *DARPA 2007 Urban Challenge*, explica que existem dois principais problemas que assombram as conclusões: o primeiro, é o facto de não se levar em linha de conta a forma como a inteligência artificial está a ser desenvolvida e como funciona verdadeiramente neste tipo de carros e, o segundo, é que a questão da ética está a ser colocada por quem não trabalha com a tecnologia. Afirmando que a inteligência artificial não tem as mesmas capacidades cognitivas do que o ser humano, acrescenta que as decisões tomadas pelos veículos autónomos têm como base, critérios como a velocidade, as condições climáticas, o estado das estradas, as distâncias e um conjunto amplo de outros dados reunidos através de uma variedade de sensores, incluindo câmaras, LIDARs e radares. Como explicou à *Scientific American*, um carro autónomo irá calcular a decisão mais adequada com base na velocidade a que está a circular e de acordo com a distância a que se encontra determinado obstáculo (carros ou pessoas) no seu caminho. Para o professor e investigador, o desafio principal nestas circunstâncias reside na recolha e processamento dos dados necessários, com a rapidez suficiente para evitar, antes de mais, qualquer circunstância perigosa. Apesar de reconhecer que esta “prevenção

atempada” não será sempre possível, é absolutamente cético no que respeita aos casos em que o veículo deverá decidir quem vive e quem morre [45].

Legislação

O governo Português pretende criar, já em 2017, legislação que permita que as ruas de Portugal sejam usadas para testar os carros autónomos, anunciou o secretário de estado da Indústria, João Vasconcelos, numa entrevista ao Jornal de Negócios e à Antena1, em novembro de 2016 [46].

José Mendes, secretário de estado adjunto do Ambiente, participou em fevereiro *deste ano na conferência “Mobilidade: planejar, financiar, contratualizar” em Viseu, onde afirmou que “Podemos criar uma legislação que permita, numa primeira fase, termos funções mais básicas de condução autónoma, como, por exemplo, a entrada e a saída de um parque de estacionamento, e, depois, numa segunda fase, funções mais avançadas”*. José Mendes disse também aos jornalistas que a legislação para a condução autónoma *“não existe em praticamente parte nenhuma do mundo, existe apenas em contextos muito controlados, por razões de segurança”* [47].

Em fevereiro deste ano, o governo Britânico deu a conhecer uma proposta de lei que prevê a atribuição das responsabilidades pelos acidentes aos fabricantes de automóveis que tenham sido registados com veículos que circulam em modo autónomo. Nesta proposta de lei, começa-se por exigir às seguradoras a constituição de dois tipos de seguros: um primeiro que só pode ser acionado quando o condutor assume o controlo; e um segundo que se destina aos casos em que o carro circula autonomamente, o que não impede que quem se considere lesado recorra ao tribunal, informa a Ars Technica. No entanto, os casos de diferendo terão de ser julgados à luz da legislação existente. De acordo com a nova proposta de lei, há apenas duas exceções no que toca à atribuição de responsabilidades: as seguradoras não serão obrigadas a assumir os custos de acidentes com veículos cujo *software* tenha sido alterado pelos respetivos proprietários ou em veículos que não tenham sido feito os *updates* que vão sendo disponibilizados pela marca do automóvel [48].

Tal como se pode constatar pelas evidências acima, a legislação em Portugal, bem como noutros países do mundo ainda se encontra numa fase inicial, será que até 2020, estaremos todos totalmente preparados (legislação, tecnologias, segurança...) para a condução autónoma?

Capítulo 4

Descrição e Especificação dos Cenários

A tecnologia de condução autónoma tem sido considerada como uma solução promissora para reduzir os acidentes rodoviários, o congestionamento do tráfego e aumentar a segurança veicular. A comunicação confiável e eficiente entre veículos, e entre veículos e infraestruturas, são essenciais para a condução de veículos autónomos.

A presente dissertação apresenta uma análise prática acerca do cálculo da largura de banda mínima necessária para que haja condução autónoma, e o cálculo da distância entre o móvel e a estação de base utilizando a atual tecnologia LTE-A. É apresentado também uma análise teórica sobre o uso de redes veiculares heterogéneas para a condução autónoma, em dois locais representativos da cidade de Lisboa, a 2ª Circular (1) e o cruzamento que interliga as avenidas Prof. Gama Pinto, Álvaro Pais e Forças Armadas (2). Irão ser analisados três cenários – Cenário de Via Rápida Urbana com fluxo livre, Cenário de Via Rápida Urbana com fluxo sincronizado e o Cenário de Interseção Urbana (Figura 13).



Figura 13: Localização dos Cenários: Local 1 – Via rápida urbana (2º Circular); Local 2 – Interseção urbana (cruzamento que interliga as avenidas Prof. Gama Pinto, Álvaro Pais e Forças Armadas 📍)

A escolha dos três cenários baseou-se na sua proximidade do ISCTE e nas diferentes características de densidade de tráfego, das rodovias e das infraestruturas implantadas em cada rodovia. A sua escolha deveu-se também ao facto de serem vias com elevado índice de sinistralidade, em que interessa encontrar soluções que minimizem estes problemas.

O primeiro e o segundo cenários escolhidos estão associados a um troço da 2ª circular (do Km 5 ao Km 6), onde a densidade do tráfego varia consoante os diferentes períodos do dia, sendo que neste troço são praticadas velocidades mais elevadas do que a maior parte das zonas em Lisboa, o que também se revela bastante interessante na partilha de informação entre veículos e as infraestruturas localizadas ao longo da faixa de rodagem. Outro aspeto importante é o facto de no troço escolhido existirem faixas de aceleração/redução de velocidade agregadas às entradas e saídas deste troço, designados por nós (Figura 14). No troço escolhido existem dois nós críticos, o nó A que é um entrecruzamento com cerca de 320 metros entre a entrada a partir da Azinhaga das Galhardas e a saída para o Campo Grande (sentido Nascente) e o nó B que é um entrecruzamento com cerca de 125 metros entre a entrada a partir do Campo Grande e a saída Av. Padre Cruz em direção ao Campo Grande (sentido Poente). Neste estudo será avaliado teoricamente apenas o nó B. Assim sendo, devido à variação do tráfego em diferentes períodos do dia, irá estudar-se para a mesma via urbana dois cenários distintos, com menor e maior densidade de tráfego, no sentido poente (nó B) [49].



Figura 14: Localização dos Nós: Nó A- Az. Galhardas/ Campo Grande; Nó B – Campo Grande

Por fim, o terceiro cenário foi eleito tendo por base a dificuldade extrema em organizar o trânsito em cenários de cruzamento. O cruzamento junto às instalações do ISCTE apresenta infraestruturas como semáforos, que ajudam a regular a intensidade do tráfego, e estações de base de diferentes operadores. Desta forma, torna-se bastante interessante elaborar o estudo acerca da comunicação entre os veículos e entre os veículos e as infraestruturas, nos diferentes sentidos do cruzamento.

Os vários cenários de condução autónoma serão detalhados e analisados pelo estudo das características do tráfego e pela comunicação veicular.

4.1 Largura de Banda em Condução Autônoma

Tal como referido no Capítulo 3 (ponto 3.3) da presente dissertação, cada veículo envia para a nuvem cerca de 25 GBytes de dados por hora, isto é, cada veículo apresenta um ritmo binário (R_b) de:

$$R_b = 25\text{GBytes/hora}$$

$$R_b = 55,56 \text{ Mbit/s}$$

A largura de banda necessária é calculada a partir da seguinte formula:

$$B_w = \frac{R_b}{\epsilon_{m\acute{a}x}} = \frac{55,56M}{5,55} = 10\text{MHz} \quad (4.1)$$

Onde:

B_w é a largura de banda do sistema.

R_b é o ritmo binário (bps).

$\epsilon_{m\acute{a}x}$ é a eficiência espectral máxima do LTE em (bps/s/Hz).

Numa transmissão LTE, o eNB seleciona uma MCS (*Modulation Coding Scheme*) consoante um CQI (*Channel Quality Indicator*). Na Tabela 6 mostra-se os valores de CQI e respetivos tamanhos de bloco e eficiências espectrais. O parâmetro de eficiência espectral eleito foi o 5,55 bps/s/Hz e foi retirado da Tabela 6.

CQI	Modulação	Tbloco	Eficiência (bps/Hz)=Tbloco*Nbits/simb/1024
0	n/a	0	0
1	QPSK	78	0,15
2	QPSK	120	0,23
3	QPSK	193	0,38
4	QPSK	308	0,60
5	QPSK	449	0,88
6	QPSK	602	1,18
7	16-QAM	378	1,48
8	16-QAM	490	1,91
9	16-QAM	616	2,41
10	64-QAM	466	2,73
11	64-QAM	567	3,32
12	64-QAM	666	3,90
13	64-QAM	772	4,52
14	64-QAM	873	5,12
15	64-QAM	948	5,55

Tabela 6 : CQI e respetivas modulações, tamanhos de bloco e eficiência espectral (Dados extraídos de [50])

A escolha da eficiência espectral deveu-se ao MCS (esquema de modulação), sendo que a modulação de ordem mais baixa (QPSK) permite uma transmissão mais robusta e tolera maiores níveis

de interferência, contudo o débito binário é baixo, por outro lado, a modulação de ordem mais alta (64 QAM), permite débitos binários elevados, no entanto é mais sensível a erros, interferências e ruído [50].

Atualmente, existem muito poucos ou quase nenhuns veículos autónomos, no entanto daqui a alguns anos existirá uma grande quantidade deste tipo de veículo, logo se é necessária uma largura de banda de 10 MHz por cada automóvel, pode concluir-se que caso existam 1000 veículos será necessária uma largura de banda mínima total de 10 GHz, (devido ao elevado débito binário gerado pela grande quantidade de veículos). Como necessitamos de um elevado débito binário selecionou-se a eficiência espectral máxima que implica no raio de cobertura mais reduzido.

4.2 Cálculo da Distância entre o Móvel e a eNB

Considerando-se uma eficiência espectral máxima de 5,55 bps/Hz que diz respeito aos 64 QAM, com taxa de codificação de 0,93=948/1024, a que corresponde uma relação sinal ruído SNR=20 dB.

$$SNR = \frac{S_{Rx}}{P_N} \leftrightarrow S_{Rx} = SNR * P_N \leftrightarrow 10 \log(S_{Rx}) = 10 \log(SNR) * 10 \log(P_N) \quad (4.2)$$

Onde:

P_N é a Potência do ruído do recetor (mW).

S_{Rx} é a Sensibilidade do recetor (dB).

Sabendo que:

$$P_N = KTB_W F \quad (4.3)$$

Onde:

k é a constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ W/Hz-K).

T é a temperatura (Kelvin) (290 K ou 17 °C).

B_W é a largura de banda (Hz) igual a 10 MHz.

F é o fator de ruído do recetor da estação de base (eNB)

Obtém-se que:

$$10 \log(S_{Rx}) = 10 \log(SNR) + 10 \log(KT) + 10 \log(F) + 10 \log(Bw)$$

$$10 \log(S_{Rx}) = 20 - 174 + 3 + 70 = -81 \text{ dB}$$

Em comunicações móveis, a cobertura de uma estação base é a área geográfica onde a estação base e o terminal móvel (ou vários terminais móveis) podem estabelecer transmissões nos dois sentidos. A qualidade da comunicação entre a estação base e o terminal móvel depende da potência do sinal no local geográfico onde se encontra o móvel. Neste caso prático, pretende-se saber a distância entre o veículo e a estação base, quando o móvel transmite dados para a estação base. Este é o

caso de menor raio de cobertura (móvel a transmitir), então calculamos apenas a atenuação de propagação no *uplink*. A atenuação de propagação máxima em LTE, no *uplink* é dada por:

$$L_{up} = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} - S_{rx} + G_{rx} - L_{rx} + G_{dv} - M \quad (4.4)$$

Onde:

L_{up} é a Máxima perda de *Uplink*;

P_{tx} é a Potência de transmissão (dBm).

G_{tx} é o Ganho da antena transmissora (dBi).

L_{tx} são as Perdas na transmissão (dB).

SNR é a Relação sinal/ruído (dB).

S_{rx} é a Sensibilidade requerida na recepção (dB).

G_{Rx} é o Ganho da antena recetora (dBi).

L_{Rx} são as Perdas na recepção (dB).

G_{dv} é o Ganho de diversidade(dBi).

M é a Margem de desvanecimentos (dB).

Sabendo que, a antena utilizada foi a Amphenol⁹, as suas características encontram-se representadas na tabela 7:

Características	Valores
Potência	200 W
Ganho	17,5 dBi
Perdas de Transmissão	5,2 dB
Perdas de Recepção	3,2 dB

Tabela 7: Características da antena utilizada (Adaptada de [51])

Obtém-se:

$$L_{up} = 24dBm + 0 - 3,2dB - (-81dBm) + 0 + 17,5dBi - 5,2dB + 0 - 10dB$$

$$L_{up} = 104,1 dB$$

⁹ Ver características da antena Amphenol no Anexo C

Existem vários modelos de propagação para o cálculo de perdas máximas admissíveis em ambientes outdoor, os modelos existentes são vários, tais como:

- O modelo Cost 321, aplicado em meios urbanos, com macro e micro-células e em meios suburbanos com macro-células;
- O modelo TS 36.942, aplicado em meios urbanos e rurais.

As perdas em espaço livre são obtidas com recurso à equação (4.5)

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^\alpha = \left(\frac{4\pi d f}{C}\right)^\alpha [dB] \quad (4.5)$$

Onde:

d é a distância entre o transmissor e o recetor (m)

λ é o comprimento de onda ($\lambda = v / f$)

f é a frequência (Hz)

C é a velocidade da luz (3×10^8 m/s)

α é o coeficiente dependente do ambiente

Utilizando o modelo TS 36.942 do 3GPP, as perdas máximas permitidas na ligação podem ser calculadas através da equação (4.6) para meios urbanos.

$$L = 40(1 - 4 \times 10^{-3} \times D_{hb}) \times \log(R) - 18 \log(D_{hb}) + 21 \log(f) + 80 [dB] \quad (4.6)$$

Onde:

f é a frequência (Hz).

D_{hb} é a altura entre a antena e nível médio dos telhados.

Este modelo recebe como parâmetro de entrada a frequência, o tipo de ambiente para atribuir as devidas alturas e a distância a que o utilizador está. Sabendo que se deve utilizar um ambiente de célula urbana para a faixa de 2GHz estando a altura da antena da estação de base com mais 15 metros do que o nível médio dos telhados e utilizando o resultado da equação (4.6) é possível calcular a distância ente o móvel e a antena (Figura 15).

$$L = 128,1 + 37,6 \log(R)$$

$$104,1 = 128,1 + 37,6 \log(R)$$

$$R = 230m$$

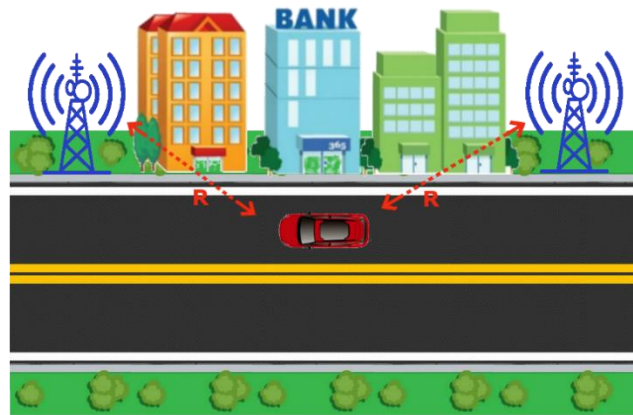


Figura 15 : Distância ente veículo e a estação de base.

Perante este resultado podemos concluir que as comunicações IEEE802.11p (Wi-Fi) não são adequadas para satisfazer a comunicação V2I visto que não têm o alcance suficiente.

A tecnologia LTE com a atual tecnologia (LTE-A) cumpre os requisitos para satisfazer a comunicação V2I em termos de alcance. Perante os cálculos apresentados podemos verificar também que as estações de base deveriam ser colocadas na via de 400 em 400 metros para se garantir a existência de uma zona de sobreposição onde se realizam os *handovers*.

4.3 Cenários de Via Rápida Urbana

4.3.1 Informação Geral

A Segunda Circular (2ª Circular) é uma via rápida urbana de Lisboa, que atravessa a cidade na sua coroa norte, ligando (a ponte) o nó rodoviário entre a CRIL e o IC19 ao nó rodoviário (a nascente) entre a A1, a CRIL e a Ponte Vasco da Gama. A 2ª Circular tem uma extensão de aproximadamente 10 km e constitui um eixo formado por três avenidas, Avenida Eusébio da Silva Ferreira, Avenida General Norton de Matos e Avenida Marechal Craveiro Lopes [49]. É uma das vias portuguesas com maior densidade de tráfego em hora de ponta. A sua gestão está a cargo da Câmara Municipal de Lisboa.

Como principal via de atravessamento da cidade, a 2ª circular tem um perfil transversal de 2x3 vias (com reforço adicional em alguns pontos críticos), vias de aceleração e desaceleração nos acessos, cruzamentos desnivelados, separador central (metálico e em betão, tipo barreira New Jersey), velocidade máxima de 80 km/h, sistemas de videovigilância e um painel de mensagens variáveis, localizado entre o Km 3 e o Km 4.

4.3.2 Caracterização do Tráfego

Segundo uma notícia publicada no Diário de Notícias no dia 6 de janeiro de 2016, a PSP registou uma média de 42 acidentes por mês na Segunda Circular, em Lisboa, no ano de 2015. Os dados foram avançados ao Diário de Notícias pelo comando metropolitano da PSP de Lisboa (Cometlis), que adiantou ainda terem resultado, desses acidentes, três mortes, 152 feridos leves e um ferido grave. [52]

Trata-se de uma via frequentemente congestionada, com funções desadequadas (e em mau estado de conservação). Existe uma grande densidade de tráfego nas horas de ponta, com distinção entre a hora de ponta da manhã (HPM, 08:00 – 09:00 h) e a hora de ponta da tarde (HPT, 18:00 – 19:00 h). Observando os volumes de tráfego na rede de Lisboa (Figura 16a), verifica-se que a 2ª Circular é o eixo municipal mais carregado da cidade, equiparando-se a vias de grande importância regional, como são os casos do IC19, Ponte 25 de Abril ou A5. Na Figura 16b apresenta-se uma representação esquemática da variação dos volumes de tráfego ao longo do corredor da 2ª Circular (em TMDA - tráfego médio diário anual) [49].

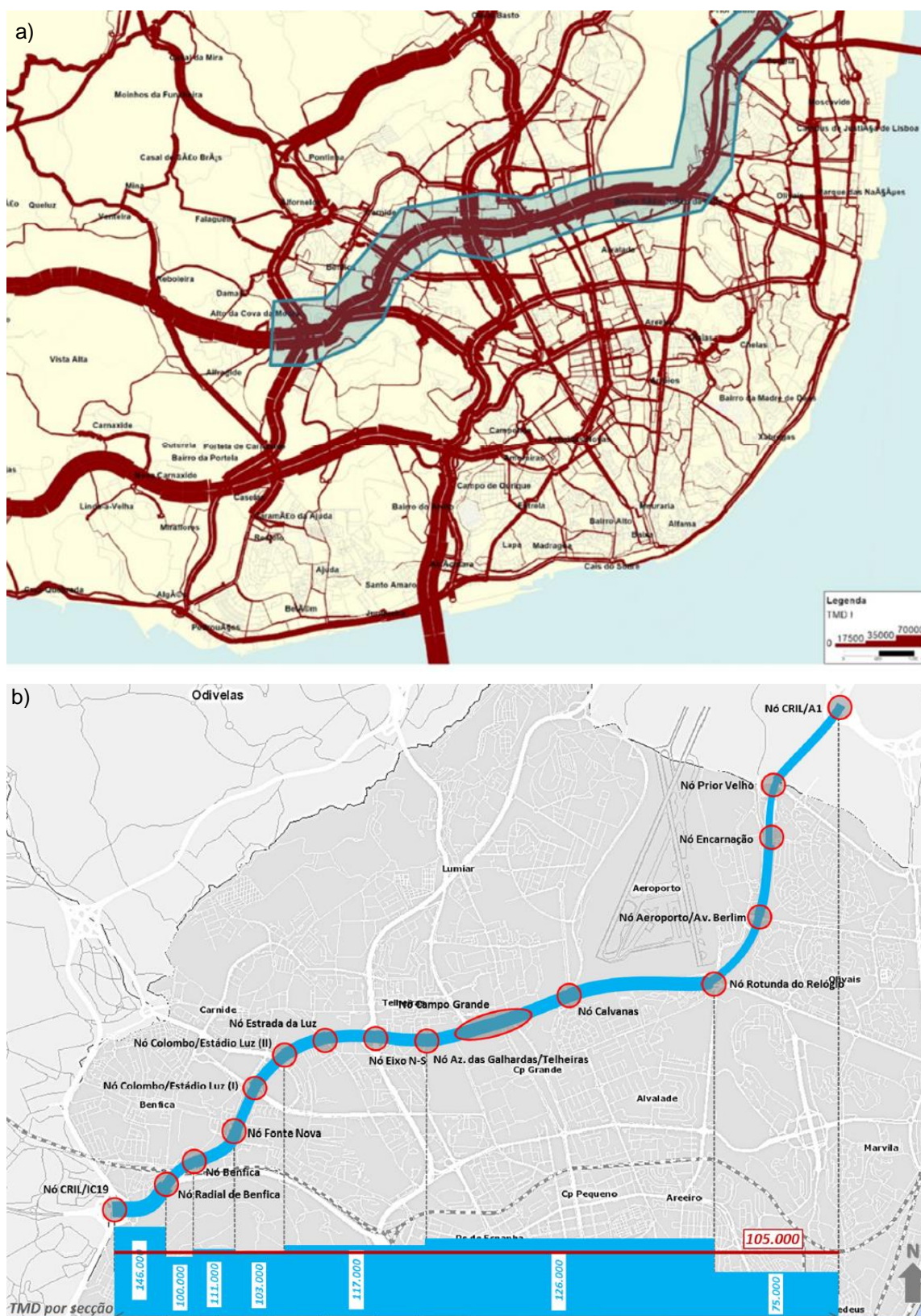


Figura 16: a) Diagrama de cargas na rede em Tráfego Médio Diário Anual (TMDA - total de veículos); b) TMDA por sublanço da 2ª Circular (Retirada de [49])

A 2ª Circular apresenta um TMDA de 105.000 veículos/dia nos dois sentidos. Apesar de a velocidade máxima permitida ser 80 km/h, a velocidade média em hora de ponta é de 45,7 km/h, fruto de um rácio volume / capacidade acima de 90%. Em média, cada veículo percorre cerca de 3,0 km na 2ª Circular, correspondente a cerca de 30% da sua extensão total. A percentagem média de pesados, na HPM, é da ordem dos 2,6%.

Segundo dados do estudo “Requalificação da 2ª Circular. Estudo de Tráfego – Modelo Macro”, foi identificado um conjunto de pontos críticos na 2ª Circular (Figura 17). Trata-se de pontos de entrecruzamento de tráfego que, pela sua dimensão e/ou pelo volume de tráfego envolvidos, resultam em congestionamentos frequentes e na deterioração das condições de circulação na 2ª Circular. O ponto crítico localizado no nó do Campo Grande (ponto 3) será alvo de estudo teórico no âmbito desta dissertação [49].

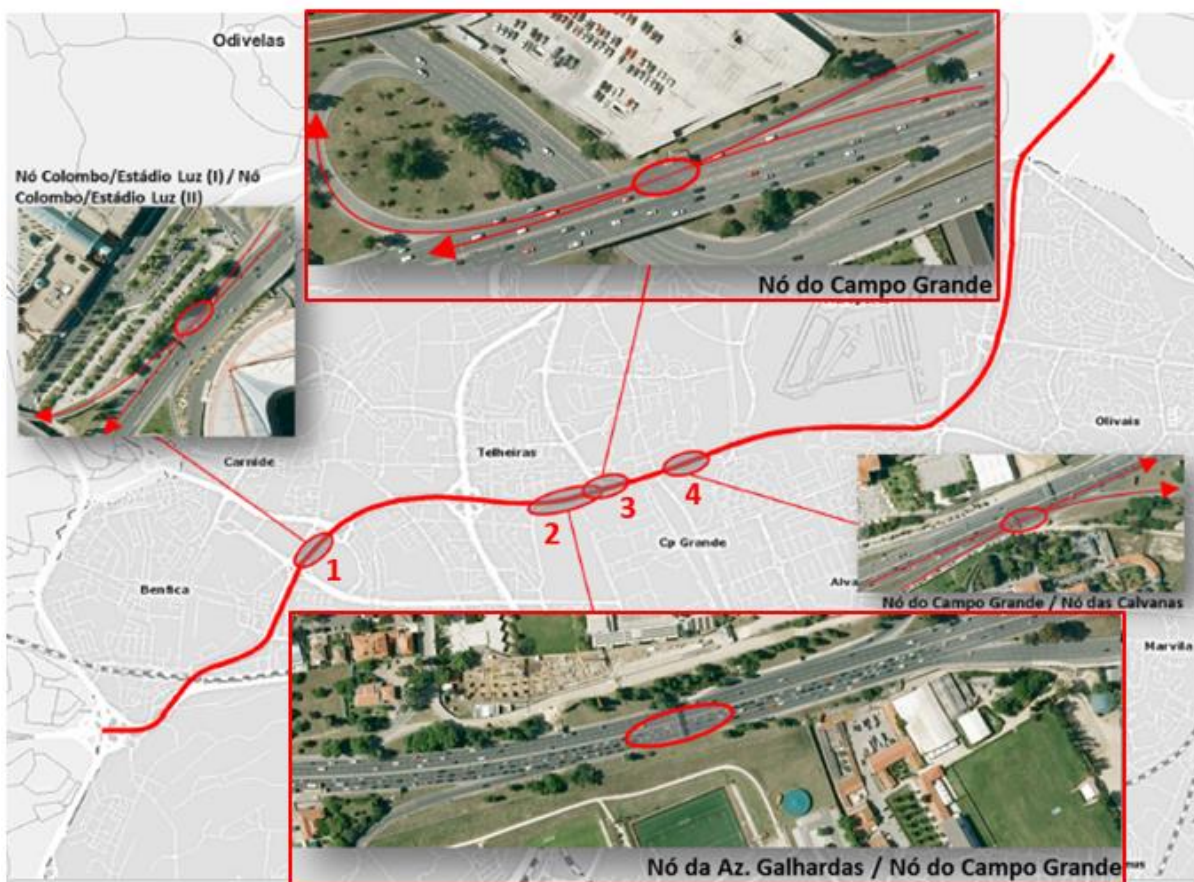


Figura 17: Identificação dos pontos críticos na 2ª Circular (Retirada de [49])

4.3.3 Arquitetura de Rede Veicular

No cenário da via rápida urbana, existem geralmente dois tipos de fluxo de tráfego, o fluxo livre e o sincronizado. Estes dois fluxos de veículos podem alternar entre si.

- Fluxo Livre

No fluxo livre, o número de veículos autónomos em HetVNET é pequeno. Este cenário, aplicado à 2ª Circular, caracteriza-se pelas horas de menor fluxo. Devido ao facto de nas horas de menor fluxo, existir um pequeno número de veículos nas vias rodoviárias da 2ª circular, as interações entre veículos são pouco frequentes e os veículos movem-se com velocidades mais elevadas, levando a uma mudança rápida na topologia de rede, de forma a que a comunicação seja confiável. Neste caso, a rede móvel tal como o sistema LTE é preferida para a comunicação V2I. No entanto, em ambientes específicos, que não é o caso da 2ª circular, por exemplo, em túneis, o sinal recebido do eNB não é de alta qualidade nos veículos, por isso uma forma de compensar esta situação seria os veículos ajudarem-se através da transmissão *multi-hop* DSRC antes de se conectar ao eNB [15].

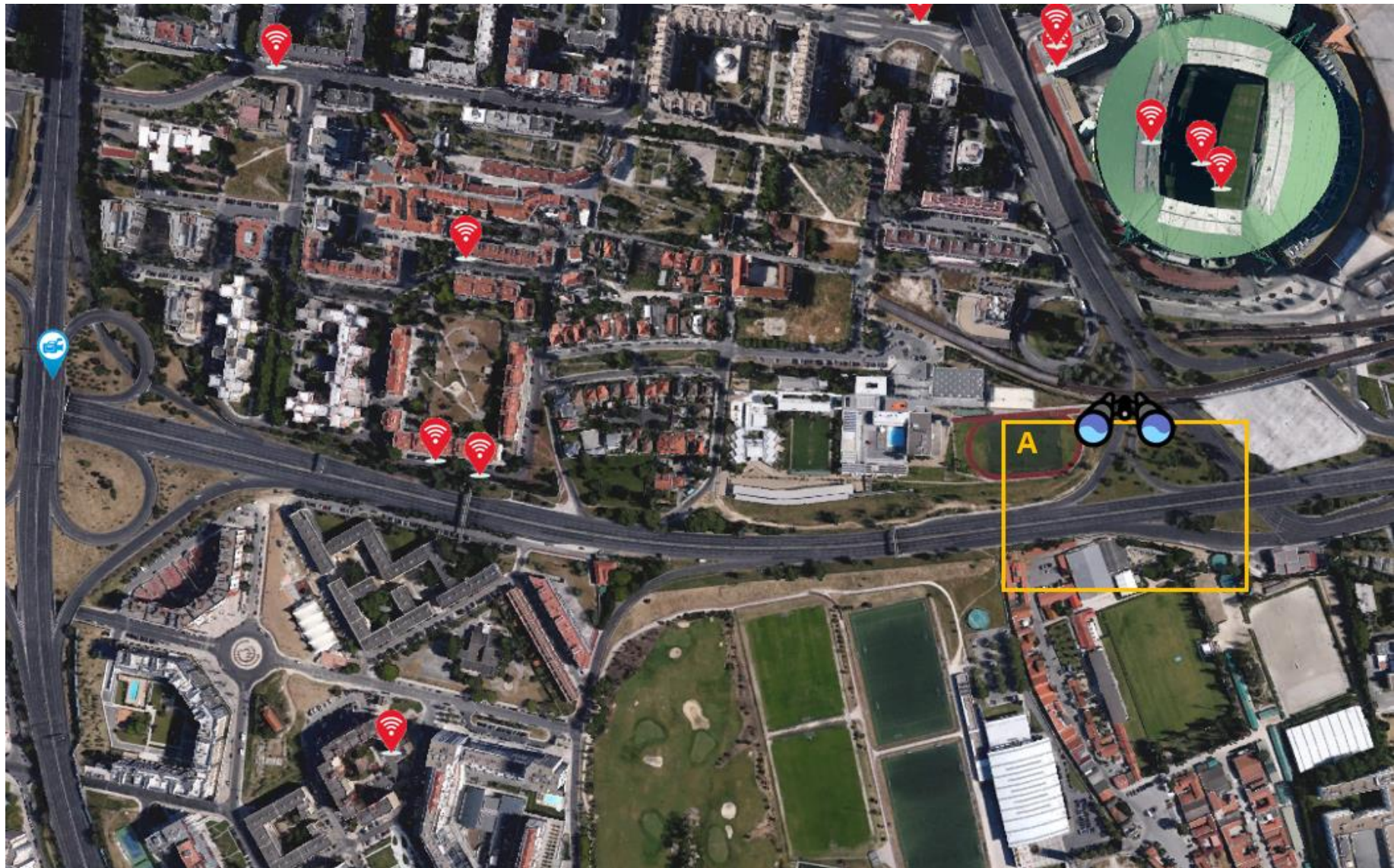
Em geral existem cinco tipos de comportamento de tráfego de ADVs que devem ser analisados relativamente ao tráfego e aos caracteres de comunicação, conforme listados abaixo:

1. Comportamento de condução normal: os ADVs podem viajar livremente à velocidade desejada, que não é restringida por outros veículos na estrada. Este é o principal comportamento no cenário de fluxo livre;
2. Comportamento de ultrapassagem: com vista a manter a velocidade desejada, os ADVs por vezes necessitam de ultrapassar outros veículos que navegam a uma velocidade relativamente mais baixa, existindo duas fases na manobra de ultrapassagem. Primeiro, verifica-se a mudança de faixa com segurança quando as vias adjacentes estão vazias, o segundo passo é acelerar e adquirir uma distância segura, de forma a poder voltar para a faixa inicial. Tal como ilustrado na Figura 18b, o ADV3 encontra-se atrás do ADV2, cuja velocidade é inferior à do ADV3, neste caso o ADV3 pode ultrapassar o ADV2 para manter a velocidade desejada. No entanto primeiro o ADV3 precisa de informar o ADV2 sobre a sua intenção de ultrapassar através da comunicação V2V auxiliando-se de mensagens ATMs e, em seguida, verifica se é seguro dirigir-se para a faixa adjacente. Caso a faixa se encontre desobstruída, ADV3 pode executar a ação de mudança de via, caso contrário, deve esperar um pouco antes da próxima tentativa.
3. Comportamento de prevenção de colisões: com o propósito de condução segura, o comportamento de prevenir acidentes é essencial. Por exemplo, quando o ADV4 e ADV5 estão muito próximos (Figura 18b), o ADV5 tem de abrandar para evitar colidir com ADV4. Este comportamento utiliza a comunicação V2V e mensagens ATMs.
4. Comportamento em situação de emergência: enquanto os veículos circulam, podem encontrar alguns veículos de emergência. Neste caso, os ADVs têm que reduzir a velocidade e tentar desviar-se em segurança, de forma a que os veículos de emergência passem rapidamente. Assim sendo, o ADV6 transmite mensagens de emergência adequadas (ATMs) para os outros veículos. Este comportamento pode ocorrer em todos os três cenários e, portanto, não será discutido nos próximos cenários.
5. Comportamento em vias que se intersejam (entrada e saída da via rápida urbana): neste tipo de comportamento existem duas situações distintas, as entradas na via principal e as saídas da via principal. Para a situação em que o ADV7 pretende alcançar a via principal e se encontra numa outra via, este deve reduzir a velocidade e comunicar ao eNB a intenção de entrar na via

principal, de seguida o eNB comunica a intenção do ADV7 ao ADV8, reduzindo também a sua velocidade e alertando os veículos traseiros. Desta forma o ADV8 já se encontra alerta para a presença do ADV7, o ADV7 também se encontra informado da presença do ADV8. Seguidamente o ADV7 acelera de modo a entrar na via principal à frente do ADV8. Na situação em que o ADV9 pretende sair da via principal, deve informar o ADV10 da sua redução de velocidade e da intenção de sair da via, para que este possa também reduzir a sua velocidade em segurança e avisar os condutores traseiros, caso existam. Este comportamento ocorre apenas nos cenários de via rápida urbana em fluxo livre e sincronizado, por isso não será abordado no próximo cenário.

Cada comportamento de tráfego tem os seus requisitos específicos de comunicação com vista a alcançar a segurança, portanto diferentes formas de comunicação, com os tipos de mensagens correspondentes, precisam de ser aplicadas para que se possa garantir o sucesso de cada comportamento de tráfego. Um ADV com comportamento normal necessita distribuir PSMs através da comunicação V2V e V2I, além disso é necessário que o ADV envie ATMs através da comunicação V2V para garantir segurança quando este efetua a ultrapassagem. As aplicações de entretenimento podem também ser aproveitadas principalmente pelos ocupantes do veículo através da ligação V2I, contudo devido as elevadas velocidades dos veículos em fluxo livre, os efeitos de propagação de desvanecimento rápido dos canais rádio são bastante graves, o que deteriora significativamente a qualidade das ligações de comunicação. Portanto, garantir comunicação confiável sob tal cenário torna-se um desafio [26].

a)



Antenas existentes no local

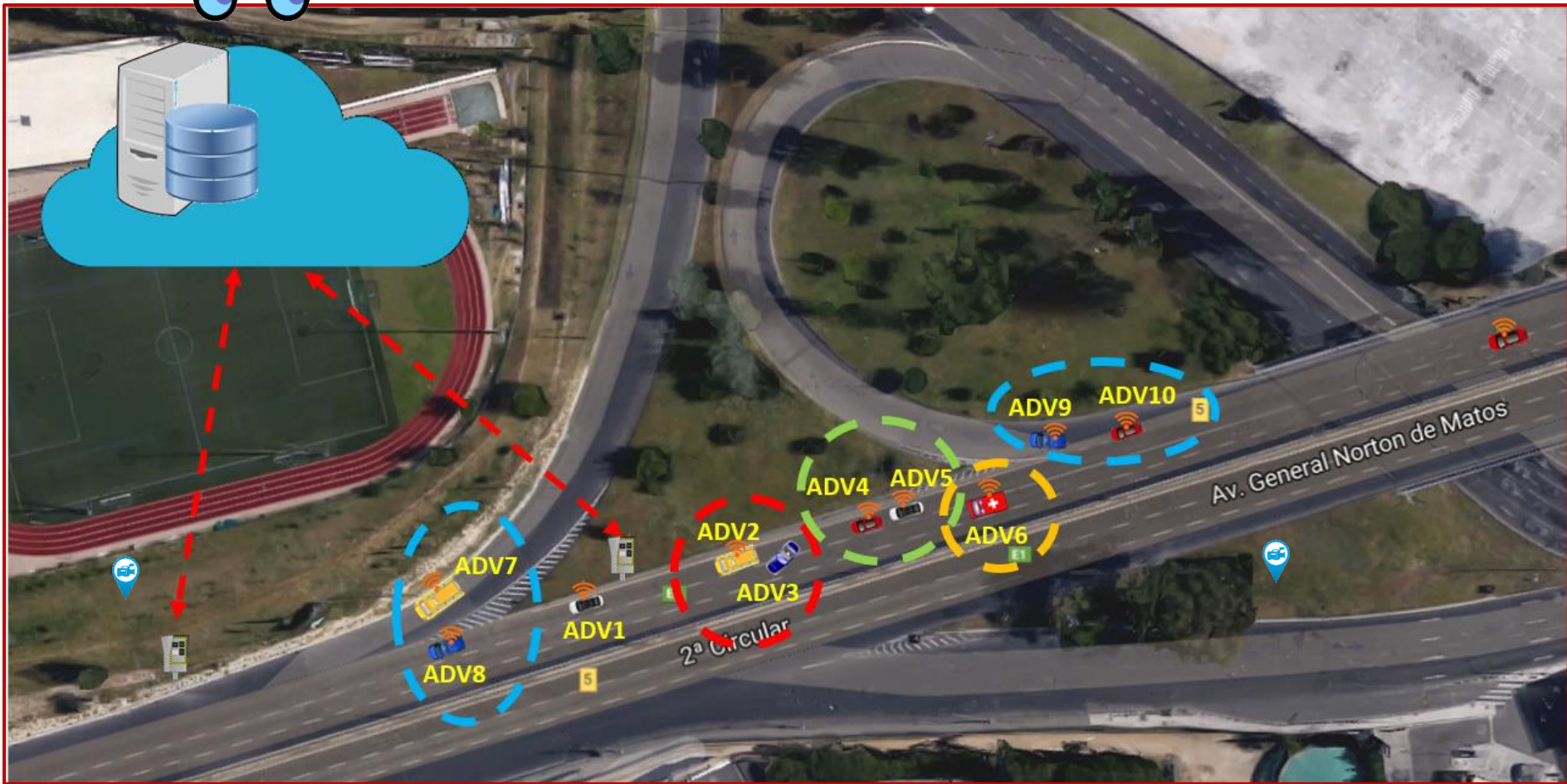


Câmara de videovigilância



Ampliação do ponto A (representado na Figura b))

b)



- Radar de velocidade*
- Conetividade dos veículos
- Ao km 5
- Estrada europeia 1
- Câmara de videovigilância*

Figura 18: a) Representação das antenas e câmara de videovigilância; b) Cenário 1: Via Rápida Urbana em fluxo livre (Adaptada de [26])

* Elementos propostos no âmbito da análise efetuada.

- Fluxo Sincronizado

No fluxo sincronizado, a densidade de tráfego é muito maior (pode ser representado pelas horas de ponta), o que significa que as mensagens de transmissão são provavelmente inundadas. Devido aos congestionamentos, as velocidades dos veículos são baixas, o que significa que as ligações de rádio entre os veículos se tornam praticamente estáticas. Com o auxílio do DSRC, os mecanismos de agrupamento podem ser uma informação eficiente de difusão. Os veículos dentro da faixa de transmissão de DSRC formam um cluster, e o CH (cabeçalho do Cluster) é eleito através de um determinado algoritmo. Em seguida, na ligação ascendente V2I, o CH agrega os dados de seus membros do cluster antes de encaminhá-lo para o eNB via LTE. Desta forma, o tráfego global LTE pode ser reduzido em comparação com transmissões separadas por utilizador de veículos individuais. Para o *downlink*, o *multicast* da rede LTE pode ser usado para distribuir mensagens.

A velocidade dos veículos nas diferentes faixas tende a ser sincronizada, e a flexibilidade neste cenário é muito limitada. Tais características dão origem a três tipos de comportamentos típicos de tráfego, conforme listado abaixo:

1. Comportamento de circulação automóvel: Devido à convergência na velocidade, os ADVs têm de seguir os veículos da frente, que é o comportamento mais comum neste tipo de cenários. Na Figura 19, podemos encontrar os ADV1, ADV2 e ADV3, caso o ADV1 encontre um evento inesperado e necessitar de abrandar, os ADV2 e ADV3 também terão de reduzir a velocidade, a fim de se manter a segurança (ATMs e PSMs).
2. Comportamento de mudança de faixa: neste tipo de fluxo, é muito difícil ultrapassar devido a elevada densidade do tráfego. No entanto, a fim de melhorar a eficiência do tráfego, alguns ADVs com velocidade relativamente elevada são suscetíveis de mudar de faixa, como por exemplo ADV7.
3. Comportamento de prevenir colisões: este comportamento é muito importante para evitar acidentes, especialmente neste cenário. Em oposição ao cenário de fluxo livre, um ADV (ADV8) está suscetível de encontrar uma colisão devido à mudança de faixa.

Para garantir a segurança e a eficiência do tráfego, é provável que ocorra uma comunicação cooperativa entre os veículos, o que é bastante diferente do cenário de fluxo livre. Comparativamente ao cenário de fluxo livre, além dos efeitos de prorrogação de desvanecimento rápido e severo, a alta densidade de veículos torna a topologia da rede mais complexa. Enquanto isso, uma grande quantidade de dados de comunicação é gerada pelos diferentes ADVs na estrada, tornando o alvo de ter comunicações confiáveis e eficientes bastante difícil.

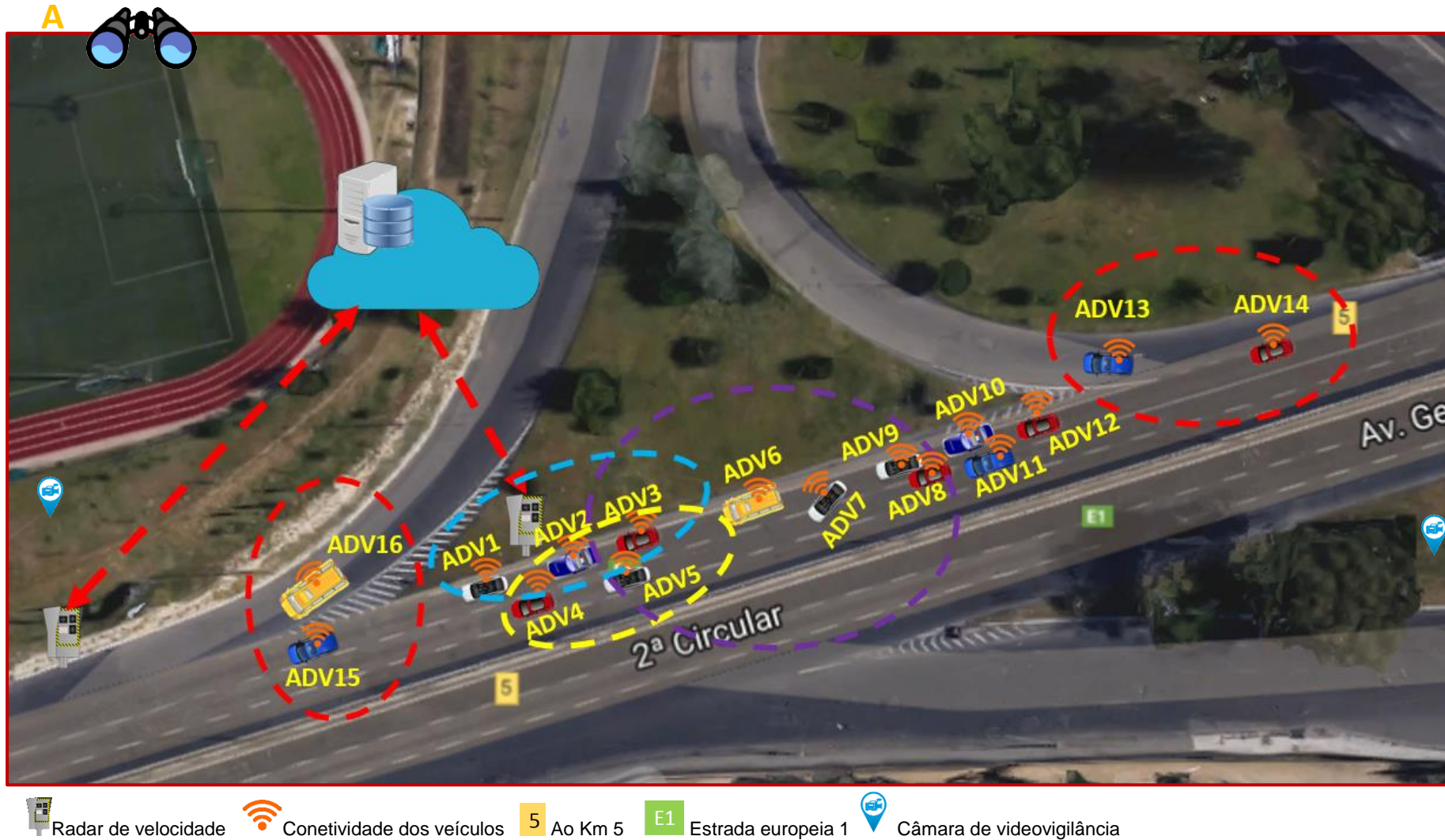


Figura 19: Cenário 2: Via Rápida Urbana em fluxo sincronizado (Adaptada de [26])

* Elementos propostos no âmbito da análise efetuada.

Tal com referido na Tabela 3 (ponto 2.3.3), a tecnologia UMTS apresenta um alcance até 10 km e a tecnologia LTE um alcance até 30 km e tal como se pode verificar na Figura 18a, a distância das antenas relativamente à localização dos veículos são de alguns metros, desta forma conclui-se que a cobertura móvel é bastante favorável.

Relativamente à câmara de videovigilância (Figura 18a) encontra-se distante do local onde ocorrem os cenários, neste sentido para uma melhor perceção do ambiente e conseqüentemente maior segurança propõe-se a introdução de alguns sensores, tais como câmaras de videovigilância e reguladores de velocidade.

Nos cenários introduziram-se duas câmaras de videovigilância, para recolher informações em ambos os sentidos, e propõe-se também a introdução de reguladores de velocidade, com o intuito de analisar as velocidades praticadas e alertar os ADVs, caso não pratiquem as velocidades aconselhadas para ambos os cenários.

A introdução destes sistemas bem como, mais painéis de mensagens variáveis, ao longo de toda a via rápida urbana, apresentam como principal objetivo a recolha de informação do tráfego, a identificação de situações de perigo, a deteção de acidentes e o fornecimento de informações aos condutores sobre as condições de circulação, com vista a informar os ADVs para que estes possam fazer escolhas mais acertadas e seguras.

4.4 Cenário de Interseção Urbana

4.4.1 Informação Geral

A interseção urbana localizada junto ao ISCTE que interliga as avenidas Prof. Gama Pinto, Álvaro Pais e Forças Armadas. O cruzamento possui 8 vias rodoviárias e apresenta um conjunto de semáforos que ajudam a regular a fluidez do tráfego bem como a passagem de pedestres nas passadeiras.

4.4.2 Caracterização do Tráfego

A interseção formada pelas três avenidas, apresenta uma grande densidade de tráfego nas horas de ponta, com distinção entre a hora de ponta da manhã (HPM, 08:00 – 09:00 h) e a hora de ponta da tarde (HPT, 18:00 – 19:00 h), esta interseção situa-se muito próximo da rotunda de Entrecampos, uma das rotundas centrais para a cidade de Lisboa [49]. Encontra-se localizada próximo do Hospital Santa Maria, sendo que é muito frequente a existência de veículos prioritários nesta zona, o cruzamento está também junto ao ISCTE, pelo que tem uma enorme abundância de pedestres.

4.4.3 Arquitetura de Rede Veicular

No cenário de interseção urbana, o DSRC é utilizado para as comunicações entre veículos, isto é, comunicações V2V, enquanto o LTE é utilizado para fornecer conexões entre veículos e os eNBs, ou seja, nas comunicações V2I. Os casos apresentados em seguida, devem ser considerados para condução segura no cenário de interseção urbana:

Colaboração entre veículo e eNB: os pedestres e os obstáculos são detetados e comunicados ao eNB por veículos ou peões. Existem vários métodos para informar sobre trabalhos na estrada, obstáculos e acidentes para o eNB. O método tradicional é que a testemunha envia a informação ao eNB. Um novo método de notificação pode ser semelhante ao *eCall*, que constitui o esforço de segurança rodoviária mais importante desenvolvido no âmbito da iniciativa *eSafety* da União Europeia. Com base nas informações (velocidade, direção ou destino alvo) que são enviadas periodicamente pelos veículos, o eNB pode prever a mobilidade através de algum algoritmo de predição, por exemplo, *road-topology-based*. Em seguida, para evitar congestionamento de tráfego ou acidentes, o eNB pode comunicar onde estão as zonas mortas existentes para os veículos que podem passar pela sua área de cobertura.

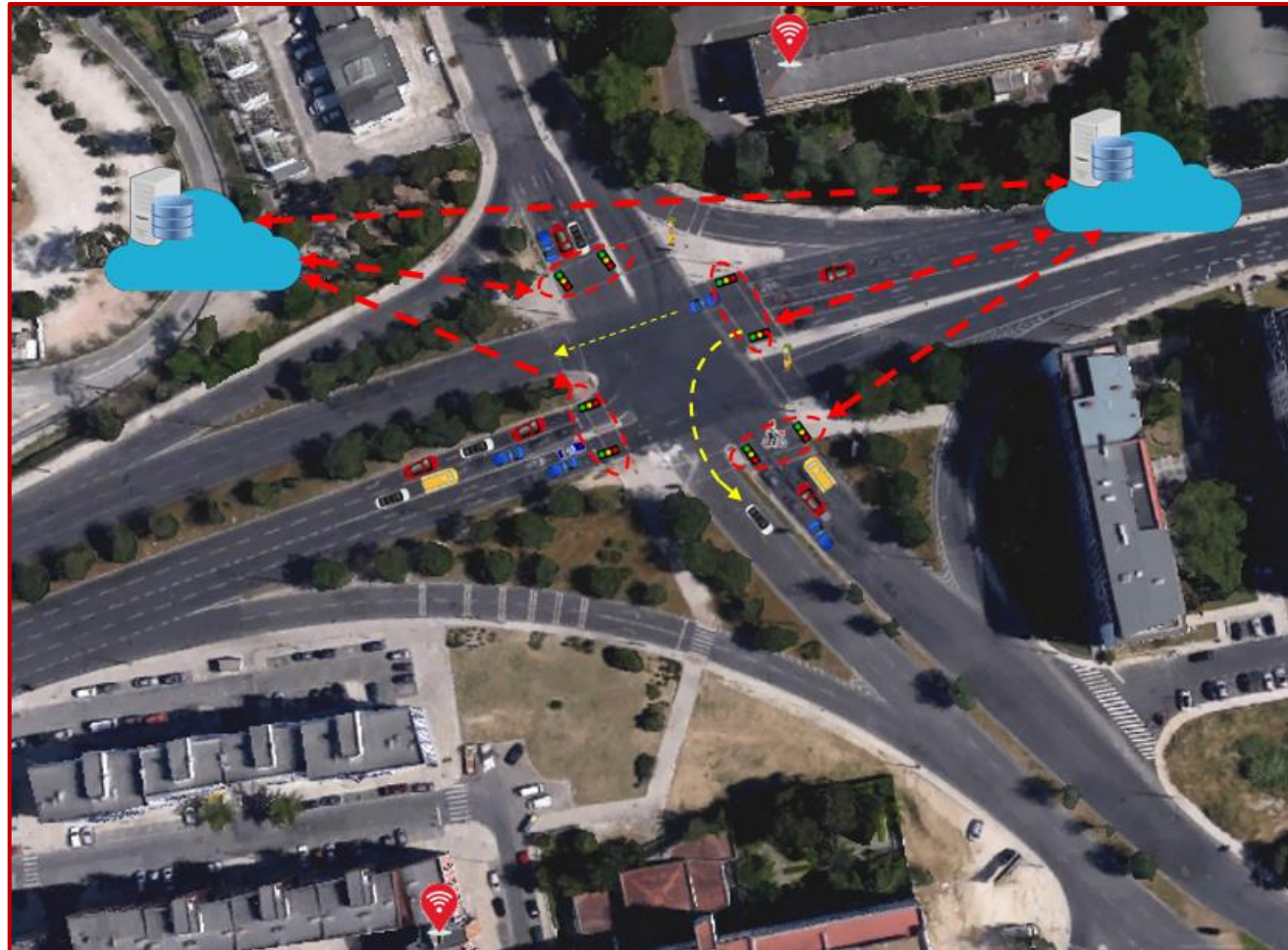
Colaboração entre veículos: O veículo da frente é capaz de informar os seguintes veículos de paragens bruscas e, assim, evita o problema da colisão. Além disso, os veículos envolvidos num acidente de carro podem transmitir a ocorrência de tal evento para evitar novas colisões;

Gestão de semáforos: A duração de um sinal de trânsito pode ser ajustada de forma inteligente para passagem de veículos de alta prioridade, tais como camiões de combate a incêndio e autocarros.

Neste tipo de cenário, a velocidade é muito mais baixa do que nos outros cenários rodoviários, além disso as ultrapassagens raramente acontecem devido à elevada carga de tráfego na interseção. Geralmente, ocorrem os seguintes comportamentos:

1. Comportamento do carro seguinte: este tipo de comportamento ocorre geralmente quando os veículos estão em fila na faixa e pretendem dar a volta. A mensagem chave antes de executar este comportamento está relacionada com a posição precisa do carro da frente;
2. Comportamento de mudança de faixa: quando um veículo circula numa faixa que não é a faixa alvo, tem de mudar de faixa. Por exemplo, um veículo tem de ir para a faixa da esquerda se quiser virar à esquerda.
3. Comportamento de reunião de carros: dois veículos estão envolvidos e a interagir uns com os outros. Por exemplo, virar à direita tem maior prioridade do que virar à esquerda quando as faixas de destino são as mesmas.

O controlo *stop and go* num cruzamento assegura a passagem segura na interseção. No entanto, este controlo pode acarretar o inconveniente de paragens frequentes e marcha lenta até atingir o direito de passagem, o que reduz significativamente a eficiência do tráfego. Através da comunicação V2V e V2I numa interseção, cada veículo possui comandos de manobras adequadas em tempo real [15].




 Antenas existentes no local

Figura 20: Cenário 3: Interseção Urbana (Adaptada de [26])

Tal como nos cenários anteriores, a localização e posicionamento das antenas encontra-se favorável para uma boa cobertura. Devido às baixas velocidades praticadas neste cenário e às infra-estruturas (semáforos) já existentes, espera-se apenas uma comunicação eficiente entre os veículos, semáforos e pedestres.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Trabalho Desenvolvido e Conclusões finais

Ao longo desta dissertação foi explorado o desenvolvimento das comunicações veiculares, VANET (*Vehicular Ad-Hoc Network*), através das quais se caminhou para um cenário de condução totalmente autónoma.

Numa fase inicial abordou-se a comunicação V2V (*Vehicle-to-vehicle*) e V2I (*Vehicle-to-infrastructure*). Numa rede *ad-hoc*, os veículos transmitem dados para outros apenas quando se encontram suficientemente perto, este tipo de comunicação acarreta a desvantagem de quando existem poucos veículos, a comunicação não seja possível e neste sentido a comunicação V2I poderia ser uma potencial solução para as zonas onde existe pouca densidade veicular. A comunicação V2I permite também que os veículos se conectem à internet e a outras redes, trazendo novas aplicações e modos de condução para as redes veiculares.

A comunicação em VANETs pretende melhorar a segurança rodoviária, a eficiência de tráfego e proporcionar maior comodidade aos passageiros do veículo, reduzindo desta forma os impactos ambientais e rodoviários.

Os ITS (*Intelligent Transport System*) definem a norma IEEE801.11p WAVE e tem como objetivo automatizar as interações entre os veículos e infraestruturas com vista a alcançar altos níveis de segurança, conforto e eficiência. O IEEE802.11p apresenta como principais vantagens, a fácil implementação, o baixo custo e a capacidade de suportar comunicações V2V em modo *ad-hoc*, no entanto ostenta algumas lacunas, como a escalabilidade, atrasos ilimitados, falta QoS (*Quality of Service*) e devido à sua limitada gama de espectro de radiofrequência, a comunicação V2I tem conectividade ineficiente e de curta duração. Perante tais factos emerge o estudo acerca da tecnologia LTE (*Long Term Evolution*), que oferece uma elevada taxa de dados, baixa latência, adapta-se às exigências de largura de banda e QoS. No entanto esta tecnologia é ineficiente na capacidade de suportar aplicações de segurança e eficiência de tráfego devido à sua arquitetura centralizada, isto é, todas as informações teriam de passar pelo núcleo da rede antes de serem encaminhadas para o nó de destino, o que provocaria atrasos na latência das mensagens. Na tentativa de solucionar o problema ainda se abordou a comunicação LTE D2D (*LTE Device-to-device*), proposta na *release 12* do LTE, no entanto concluiu-se que a pesquisa conjunta das duas tecnologias IEEE802.11p e o LTE seria a melhor solução para satisfazer as necessidades das comunicações em ITS, surgindo assim as redes veiculares heterogêneas HetVNET (*Heterogeneous Vehicular Networking*).

A evolução da tecnologia tem permitido melhorar a capacidade dos sensores e dos sistemas de processamento de dados, o que permite ampliar os automatismos. O objetivo é chegar à condução

totalmente autónoma, que dispensa na totalidade o condutor humano, neste sentido algumas multinacionais esperam ter no mercado, já em 2020, os seus veículos autónomos. Embora se tenha caminhado num desenvolvimento progressivo da condução totalmente autónoma existem ainda alguns desafios futuros que esta área deve aprofundar, tal como a eficiência na segurança rodoviária e informática, na privacidade, na ética e segurança pública e na legislação quase inexistente.

De seguida analisaram-se teoricamente 3 cenários típicos para o uso de redes veiculares heterogéneas para a condução autónoma, em dois locais representativos da cidade de Lisboa.

Inicialmente, calculou-se a largura de banda mínima necessária para a existência de condução totalmente autónoma, isto é, se cada veículo envia para a nuvem 25 GBytes por hora, isso produz um ritmo binário de 55,56 Mbit/s por veículo e conseqüentemente é necessária uma largura de banda de 10MHz por veículo. Num cenário com condução totalmente autónoma, consideramos uma amostra de 1000 veículos, o que induz a uma largura de banda mínima necessária de 10GHz.

Através dos modelos de propagação em espaço livre para ambientes urbanos foi possível calcular a distância máxima entre a estação base e o terminal móvel, quando o móvel se encontra a transmitir devido ao facto de este caso ser o que tem menor raio de cobertura. Perante os resultados obtidos pode concluir-se que a comunicação IEEE802.11p não é a comunicação aconselhável para V2I, devido ao seu curto alcance, por outro lado provou-se que a comunicação LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) é a tecnologia desejada para a comunicação V2I, pode verificar-se também que as estações de base devem ser instaladas ao longo da via de aproximadamente 400 em 400 metros, para garantir a existência de uma zona de sobreposição onde se realizam os *handovers*.

O cenário de fluxo livre é caracterizado por uma baixa densidade de veículos, logo as velocidades praticadas são mais elevadas, tornando as interações entre os veículos pouco frequentes, sendo conseqüentemente necessário um tempo de latência curto para a troca de mensagens. Devido às elevadas velocidades praticadas a topologia de rede muda rapidamente. Neste cenário foram avaliados 5 comportamentos do tráfego e as características de comunicação para garantir o sucesso de cada comportamento. Um ADV (*Autonomous driving vehicle*) com comportamento normal necessita de distribuir PSMS (*Periodic State Message*) através da comunicação V2V e V2I, utilizadas principalmente para informar outros veículos e infraestrutura acerca da posição, direção, velocidade e mau funcionamento do veículo, além disso é necessário que um ADV envie ATMs (*Action-triggered Messages*) através da comunicação V2V para garantir a segurança quando existe algum evento inesperado na via.

Por outro lado, o cenário de fluxo sincronizado caracteriza-se por uma densidade de tráfego elevada o que implica que a velocidade dos veículos é baixa e tende a ser sincronizada, as ligações rádio entre os veículos tornam-se praticamente estáticas. Para garantir a segurança e a eficiência do tráfego ocorre uma comunicação cooperativa entre os veículos na faixa DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), o que é bastante diferente do cenário de fluxo livre, os veículos formam um cluster, elegendo o CHs, este agrega os dados de seus membros do cluster antes de encaminhá-los para o eNB (E-UTRAN Node B) via LTE. Desta forma, o tráfego global LTE pode ser reduzido em comparação com transmissões separadas por utilizador de veículos individuais. Na ligação descendente o *multicast* da rede LTE é usado para distribuir mensagens.

Por fim, o cenário de interseção urbana utiliza a comunicação DSRC para a comunicação entre veículos, enquanto que a tecnologia LTE é utilizada para as transmissões entre veículos e os eNBs, a velocidade dos veículos é muito mais baixa do que nos outros cenários rodoviários. Neste cenário com vista a evitar os congestionamentos ou acidentes, o eNB pode transmitir nas zonas mortas existentes entre os veículos que podem passar pela sua área de cobertura. Outro aspeto bastante importante é a existência de semáforos neste tipo de cenários, tal como no caso estudado já existiam este tipo de infraestruturas, os semáforos podem ser geridos de forma inteligente dando preferência aos veículos de alta prioridade. Através da comunicação V2V e V2I numa interseção, cada veículo possui comandos de manobras adequadas em tempo real, assegurando a segurança e a eficiência de tráfego.

Como considerações finais, refira-se a atualidade do tema em estudo, e as inerentes dificuldades relacionadas com a obtenção de bibliografia científica e técnica, uma vez que se trata de um assunto inovador e ainda em fase de desenvolvimento e investigação.

5.2 Trabalhos Futuros

Após a realização do presente, propõe-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de pesquisas utilizando um simulador que permita avaliar o desempenho de ambas as tecnologias (LTE e IEEE802.11p), no contexto da comunicação nos diferentes tipos de aplicações veiculares, dando especial ênfase à avaliação do atraso, fiabilidade, escalabilidade e critérios de apoio à mobilidade em ambientes de simulação realistas com diferentes densidade de veículos, frequências de transmissão e velocidade média dos veículos.

Propõe-se também o estudo da condução autónoma para toda a 2^o circular bem como a estrada IC19 e autoestradas A5, A2 e A1, uma vez que são estradas com elevado fluxo de trânsito, dependente dos diferentes horários, com alta propensão para acidentes e congestionamentos.

A proteção contra “ataques” informáticos é um dos principais desafios que a indústria automóvel e investigadores enfrentam, por isso seria importante desenvolver-se um estudo em que se investigue a segurança informática aplicada à condução autónoma. Seria interessante também, a realização de inquéritos, no sentido de perceber a opinião dos cidadãos sobre a condução autónoma, bem como conhecer as diferentes perspetivas das entidades responsáveis, como o Estado, as Seguradoras e os Representantes da indústria automóvel, uma vez que a condução autónoma acarreta algumas controvertidas questões de ética, de segurança e de privacidade.

Bibliografia

- [1] Z. Mir e F. Filali, "LTE and IEEE 802.11p for vehicular networking: a performance evaluation," *EUR-ASIP Journal on Wireless Communications*, vol. 2014, no. 89, pp. 1-15, 2014. doi: 10.1186/1687-1499-2014-89
- [2] V. Jindal e P. Bedi, "Vehicular Ad-Hoc Networks: Introduction, Standards, Routing Protocols and Challenges," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 13, no. 2, pp. 44-55, 2016. doi:10.20943/01201602.4455
- [3] H. Hartenstein e K. Laberteaux, "A tutorial survey on vehicular ad hoc networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 6, pp. 164-171, 2008. doi:10.1109/MCOM.2008.4539481
- [4] S. Rehman et al., "Vehicular ad-Hoc networks (VANETs) - An overview and challenges," *Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 3, no. 3, pp. 29-38, 2013. doi: 10.5923/j.jwnc.20130303.02
- [5] N. Chaubey, "Security Analysis of Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs): A Comprehensive Study," *International Journal of Security and Its Applications*, vol. 10, no. 5, pp. 261-274, 2016. doi: 10.14257/ijisia.2016.10.5.25
- [6] J. Barrachina et al., "V2X-d: A vehicular density estimation system that combines V2V and V2I communications," *Wireless Days (WD), 2013 IFIP, Valencia, SP, 2013*, pp. 1-6. doi: 10.1109/WD.2013.6686518
- [7] "Intelligent Transportation Systems and IEEE 802.11p," Anritsu Ltd, Tóquio, 2016.
- [8] Michelle Wingham, Michele Nogueira, Cláudio P. Fernandes, Osmarildo Paviani e Benevid F. da Silva, "Capítulo 4: Segurança em Redes Veiculares: Inovações e Direções Futuras," *Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, Brasil, 2014*, pp. 145-194.
- [9] R. Singh e S. Miglani, "Efficient and secure message transfer in VANET," *Inventive Computation Technologies (ICICT), 2016 International Conference, Coimbatore, IN, 2016*. doi: 10.1109/INVENTIVE.2016.7824812
- [10] W. Liang et al., "Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015. doi: 10.1155/2015/745303
- [11] Jordi Gaspar: Broadcasting in 4G mobile broadband networks. Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Valência, Valência, 2014.

- [12] D. Jiang e L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments," *IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2008*, SIN, 2008, pp. 2036-2040. doi: 10.1109/VETECS.2008.458
- [13] Jia-Chin Lin, Chi-Sheng Lin, Chih-Neng Liang, Bo-Chiuan Chen, "Wireless communication performance based on IEEE 802.11p R2V field trials," *IEEE Communications Magazine*, vol 50, no 5, pp. 184-191, 2012. doi: 10.1109/MCOM.2012.6194401
- [14] B. Li, M. S. Mirhashemi, X. Laurent, J. Gao, "Wireless Access for Vehicular Environments," Chalmers, Gotemburgo, Suécia [Online]. Disponível: <http://www.mehrpouyan.info/Projects/Group%205.pdf>. [consultado a 25/03/2017].
- [15] K. Zheng et al., "Heterogeneous Vehicular Networking: A Survey on Architecture, Challenges, and Solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 2377–2396, 2015. doi: 10.1109/COMST.2015.2440103
- [16] Giuseppe Araniti, Claudia Campolo, Massimo Condoluci, Antonio Iera, Antonella Molinaro, "LTE for vehicular networking: a survey," *IEEE Communications Magazine*, vol 51, no 5, pp. 148 – 157, 2013. doi: 10.1109/MCOM.2013.6515060
- [17] A. Zaid et al., "Vehicle Safety Communications – Applications VSC-A; Second Annual Report January 1, 2008 through December 31, 2008," U.S. Department of Transportation / National Highway Traffic Safety Administration, Washington, 2008 [Online]. Disponível: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/811466.pdf>. [consultado a 23/03/2017].
- [18] "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2," ETSI, Sophia Antipolis, França, vol. 9.4.0, 2010 [Online]. Disponível: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/09.04.00_60/ts_136300v090400p.pdf. [consultado a 26/03/2017].
- [19] Natalia Castro Fernandes: Técnicas de Virtualização e Autoconfiguração para o Projeto de Redes de Nova Geração. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, BR, 2011.
- [20] "Intelligent Transport Systems (ITS); Framework for Public Mobile Networks in Cooperative ITS (C-ITS)," ETSI, Sophia Antipolis, França, vol. 1.1.1, 2012 [Online]. Disponível: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102900_102999/102962/01.01.01_60/tr_102962v010101p.pdf. [consultado a 24/03/2017].
- [21] "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on LTE Device to Device Proximity Services; Radio Aspects (Release 12)," 3GPP, Sophia Antipolis, França, vol. 12.0.1, 2014.
- [22] "DARPA's Urban Challenge 2007". [Online]. <http://thefutureofthings.com/3019-darpas-urban-challenge-2007/>, [consultado a 26/03/2017].

- [23] “OPINIÃO: Veículos autónomos. O que esperar desta nova realidade de mobilidade?” Outubro 2016. [Online]. <http://fleetmagazine.pt/2016/10/31/veiculos-autonomos/> [consultado a 30/03/2017].
- [24] Janet Fleetwood, “Public Health, Ethics, and Autonomous Vehicles,” *American Journal of Public Health*, pp. 1-6, 2016. doi: 10.2105/AJPH.2016.30362
- [25] “A caminho dos carros autónomos” Fevereiro 2016. [Online]. <http://exameinformatica.sapo.pt/ifestyle/carros/2016-02-23-A-caminho-dos-carros-autonomos> [consultado a 25/03/2017].
- [26] Kan Zheng, Qiang Zheng, Haojun Yang, Long Zhao, Lu Hou, Periklis Chatzimisios, “Reliable and efficient autonomous driving: the need for heterogeneous vehicular networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol 53, no 12, pp. 72-79, 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7355569
- [27] B. Zheng et al., “Next Generation Automotive Architecture Modeling and Exploration for Autonomous Driving,” *2016 IEEE Computer Society Annual Symposium, VLSI (ISVLSI)*, 2016. doi: 10.1109/ISVLSI.2016.126
- [28] “V2X Cellular Solutions,” 5G Americas, Bellevue, USA, 2016. [Online]. Disponível: http://www.5gamericas.org/files/2914/7769/1296/5GA_V2X_Report_FINAL_for_upload.pdf. [consultado a 15/04/2017].
- [29] H.Seif, X. Hu, “Autonomous Driving in the iCity—HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry,” *Elsevier Engineering*, pp. 159-162, 2016. doi: 10.1016/J.ENG.2016.02.010
- [30] “Connected cars will send 25 gigabytes of data to the cloud every hour”. [Online]. <https://qz.com/344466/connected-cars-will-send-25-gigabytes-of-data-to-the-cloud-every-hour/> [consultado a 21/05/2017].
- [31] “Parceria entre Ericsson e Volvo cria carros conectados à web” Novembro 2014. [Online]. <https://economia.terra.com.br/carros-motos/parceria-entre-ericsson-e-volvo-cria-carros-conectados-a-web,f0e66ccee8289410VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html> [consultado a 20/04/2016].
- [32] “Waze, c’est quoi? L’appli GPS qui fait des miracles... et des heureux” Junho 2014. [Online]. <https://articles.fr.softonic.com/waze-gps-cest-quoi> [consultado a 20/04/2017].
- [33] “Futuro é a mobilidade conectada. Jornal do Carro” Novembro 2015. [Online]. <http://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/futuro-e-a-mobilidade-conectada/> [consultado a 21/04/2017].
- [34] “Microsoft launches a new cloud platform for connected cars” Janeiro 2017. [Online]. <https://techcrunch.com/2017/01/05/microsoft-launches-a-new-cloud-platform-for-connected-cars/> [consultado a 22/04/2017].
- [35] “Plataforma de Veículos Conectados da Microsoft ajuda fabricantes a transformarem seus automóveis” 2017. [Online]. <https://news.microsoft.com/pt-br/plataforma-de-veiculos-conectados-da-microsoft-ajuda-fabricantes-a-transformarem-seus-automoveis/#sm.000xkldpf1jre2l10ho2iy0b623g4#0gZZWkEHDiIJsdx.97> [consultado a 26/04/2017].

- [36] “Carros conectados, na pista do 5G” Março 2017. [Online]. <http://www.telesintese.com.br/carros-conectados-na-pista-do-5g/> [consultado a 28/04/2017].
- [37] “CES: Delphi to promote path to automated driving. Safe Car News” Dezembro 2014. [Online]. http://safecarnews.com/ces-delphi-to-promote-path-to-automated-driving_d5171/ [consultado a 28/04/2017].
- [38] “Bosch apresenta veículo autónomo inteligente” 2017. [Online]. <http://automonitor.pt/2017/03/23/comercio-e-industria/bosch-apresenta-veiculo-autonomo-inteligente/> [consultado a 28/04/2017].
- [39] “Carros autónomos em teste em Lisboa” Dezembro 2016. [Online]. <https://shifter.pt/2016/12/carros-autonomos-em-teste-em-lisboa/> [consultado a 28/04/2017].
- [40] “Dois mortos em acidente de carro autónomo da Tesla” Novembro 2016. [Online]. <http://www.dn.pt/mundo/interior/dois-mortos-em-acidente-de-carro-autonomo-5479672.html> [consultado a 29/04/2017].
- [41] “Carro sem condutor da Uber tem acidente violento. Programa foi suspenso” Março 2017. [Online]. <http://www.dn.pt/mundo/interior/uber-suspende-programa-de-carro-autonomo-5750121.html> [consultado a 29/04/2017].
- [42] C. Hempfield, “The “Where” Factor and Business Intelligence,” CIMP, India, 2014. [Online]. Disponível: http://info.critchlow.co.nz/hubfs/Critchlow-Dec2016/Docs/The_Where_Factor_and_Business_Intelligence_-_Whitepaper.pdf?t=1495064805505 [consultado a 30/05/2017].
- [43] “Veículos autónomos: uma nova forma de vida e um novo desafio para a cibersegurança” Janeiro 2017. [Online]. <http://www.bit.pt/veiculos-autonomos-nova-forma-vida-um-novo-desafio-ciberseguranca/> [consultado a 29/05/2017].
- [44] “8 coisas que serão diferentes no mundo com o advento do carro autónomo” Setembro 2014. [Online]. <https://www.tecmundo.com.br/futuro/63201-8-coisas-diferentes-mundo-advento-carro-autonomo.htm> [consultado a 29/04/2017].
- [45] “E se um carro inteligente puder decidir entre a nossa vida ou morte?” Junho 2016. [Online]. <http://www.ver.pt/e-se-um-carro-inteligente-puder-decidir-entre-a-nossa-vida-ou-morte/> [consultado a 29/04/2017].
- [46] “Governo vai regulamentar carros autónomos” Novembro 2016. [Online]. <http://observador.pt/2016/11/06/governo-vai-regulamentar-carros-autonomos/> [consultado a 30/04/2017].
- [47] “Carros autónomos: Governo quer estudar leis em 2017” Fevereiro 2017. [Online]. <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/carros-autonomos-governo-quer-estudar-leis-em-2017/> [consultado a 26/04/2017].

- [48] “Governo britânico: marcas de carros autónomos são responsáveis por acidentes” Fevereiro 2017. [Online]. <http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/mercados/2017-02-23-Governo-britanico-marcas-de-carros-autonomos-sao-responsaveis-por-acidentes> [consultado 25/04/2017].
- [49] “Transportes, Inovação e Sistemas. Requalificação da 2ª Circular”, Estudo de Tráfego – Modelo Macro. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa, 2015.
- [50] Ana Gago: Análise do impacto da utilização de Femto-Células em LTE, Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, PT, 2013.
- [51] D. Pernes, D. Neves, P. Vieira e N. Costa, “Análise de Cobertura e Capacidade em Redes Móveis LTE de Quarta Geração (4G)” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. [Online]. Disponível: https://www.anacom.pt/streaming/DavidPernes_CongressoURSI2012.pdf?contentId=1148345&fileId=ATTACHED_FILE [consultado 12/05/2017].
- [52] “PSP registou 42 acidentes por mês na Segunda Circular” Janeiro 2016. [Online]. <http://www.dn.pt/sociedade/interior/psp-registou-42-acidentes-por-dia-na-segunda-circular-4966725.html> [consultado a 25/04/2017].
- [53] Tiago Cerqueira: Simulação de comunicação inter-veicular sobre LTE e 802.11p, Trabalho final de Licenciatura, Departamento de Engenharia Informática, CISTER Research Center, Instituto Politécnico do Porto (ISEP-IPP), Porto, 2015.

Anexos

Anexo A - Arquitetura da norma *IEEE802.11*

A arquitetura IEEE802.11 é constituída por diversos componentes que interagem de modo a fornecer ao utilizador a capacidade de se comunicar com outros utilizadores dentro da mesma banda rádio do mesmo BSS (*Basic Service Set*). O BSS é o bloco básico de uma LAN802.11, é uma rede sem fios que contem um *Access Point* (AP) e uma ou mais STA (*Wireless LAN Stations*). Na nomenclatura IEEE802.11, a unidade endereçável é uma estação STA, que faz referencia a não mais do que a origem/destino da informação. Uma STA pode funcionar como uma entidade fixa, móvel ou portátil.

Um AP é um nó na rede que coordena a comunicação entre STAs dentro do BSS, funciona também como ponto de acesso entre redes sem fios e a rede convencional.

A área de cobertura onde as STAs do mesmo BSS comunicam designa-se de *Basic Service Area* (BSA).

A rede IEEE802.11 pode ser configurada em dois modos de operação:

1. Modo *ad-hoc*: onde a comunicação sem fios é estabelecida diretamente sem necessidade de um AP, estas redes são também designadas de *peer-to-peer*. Este tipo de LAN IEEE802.11 é normalmente formada sem pré-planeamento e é utilizada apenas enquanto a comunicação for necessária. As STAs configuram diretamente uma conexão, comunicam e desconectam-se. O tipo de rede formado por esta associação designa-se de IBSS.
2. Modo infraestruturado: a rede é formada por APs fixos que conectam à rede convencional e são responsáveis por estabelecer a comunicação entre todas as estações móveis associadas a ele. Os APs dos vários BSSs são ligados através do DS (*Distribution System*), podendo os STAs movimentar-se entre BSSs. O DS é o componente que liga as BSSs. Os vários BSSs ligados ao DS através dos APs no modo infraestruturado permitem a criação de grandes e complexas redes wireless. IEEE802.11 refere-se a este tipo de rede como ESS (*Extended Service Set*). Um ESS é a união de vários BSSs com o mesmo SSID (*Service Set Identification*) conectados por um DS. O SSID é um parâmetro configurado no AP, para o modo infraestruturado ou para um STA sem fios em ambos os modos. Este é conhecido como o nome da rede sem fios. O SSID é periodicamente transmitido usando uma *frame* IEEE802.11MAC conhecida como *beacons frame*.

Ainda neste modo o acesso à rede é gerido pelo protocolo CSMA/CA, onde a estação deve esperar um período de tempo pré-definido para que a rede fique disponível antes de iniciar a transmissão [7].

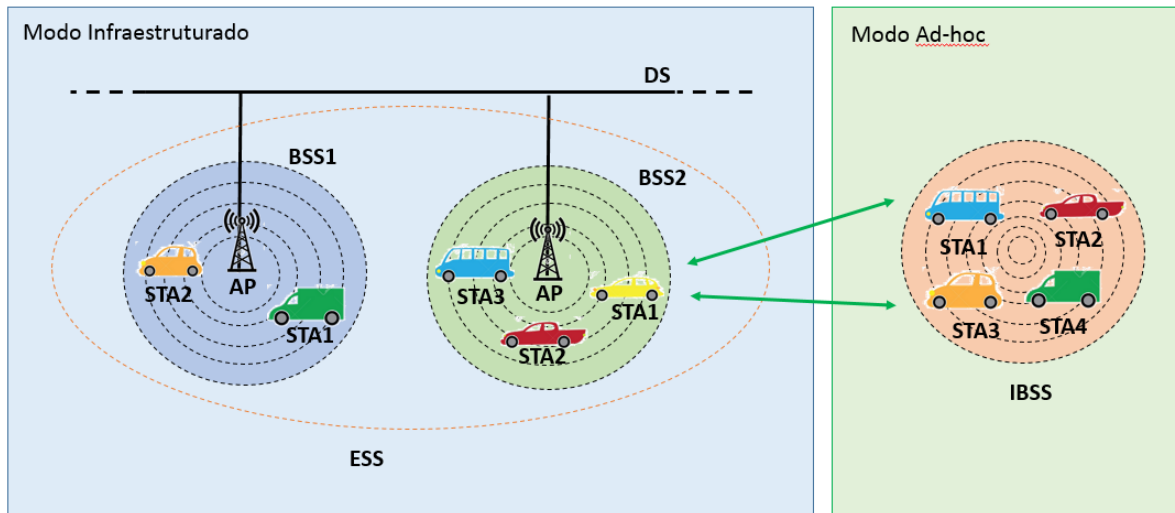


Figura 21: Arquitetura da norma IEEE802.11

Anexo B - Arquitetura da norma *IEEE802.11WAVE*

As camadas superiores de cada região podem ser descritas da seguinte forma:

- EUA

O padrão ITS nos EUA é uma evolução dos sistemas DSRC, agora chamada WAVE.

As camadas superiores são divididas em dois grupos: um dedicado a aplicações não-seguras, tais como *infotainment* que se baseia na comunicação IP tradicional, e outro dedicado as aplicações seguras que se baseiam em WSMP (WAVE Short Message Protocol). O IP não é aconselhável para a segurança, uma vez que implica uma quantidade substancial de *bits* que induz uma subcarga para lidar com o encaminhamento, o que retarda a transmissão e leva ao congestionamento [7].

Além do IEEE802.11p, WAVE também contém a norma IEEE1609x, que é a norma especificada para as camadas superiores. IEEE1609 completa o WAVE pelas suas normas de subdetalhe, por exemplo (Figura 22):

1. IEEE1609.2 é responsável pela segurança na comunicação, esta camada define o formato, processamento e troca de mensagens seguras, lidando com as questões de autenticação e criptografia.
2. IEEE1609.3 é responsável pela configuração e gestão da conexão WAVE, fornecendo suporte para aplicações de alta prioridade, sobre WSMP (protocolo desenvolvido para segurança rodoviária, permitindo o envio de mensagens curta e para aplicações tradicionais sobre TCP/IP/UDP. É responsável por lidar com a transmissão de *frames* IPV6 e WSMP, bem como a sua alocação para a transmissão no canal correto e por gerir a prioridade das mensagens.
3. IEEE1609.4 baseia-se na camada física, descrevendo as operações em vários canais e utiliza o protocolo IEEE802.11p, isto é, fornece operações entre os diferentes canais, de forma a suportar diferentes tipos de aplicações de segurança e de entretenimento. Esta coordenação torna-se possível através de uma interação com a camada LLC e a camada física e providencia também o suporte para o envio MAC [53].

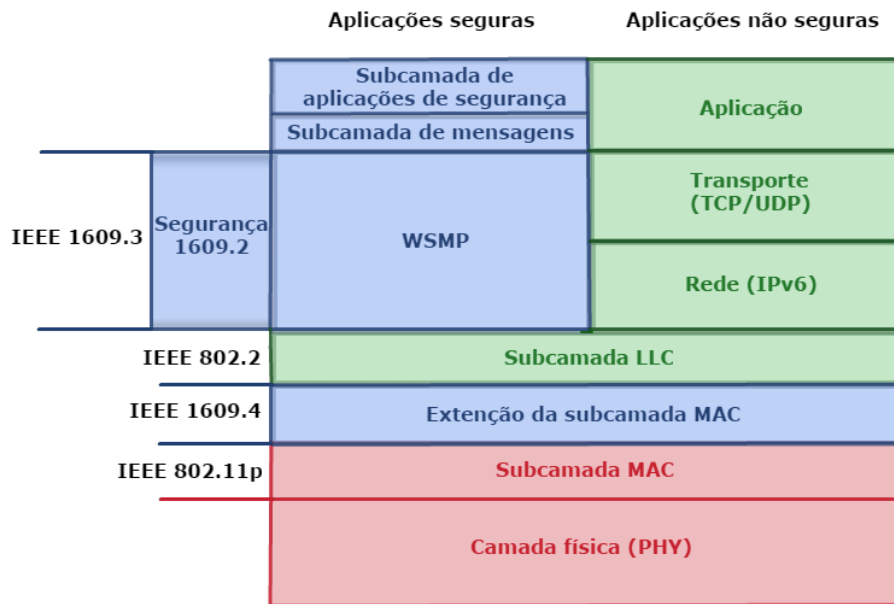


Figura 22: Protocolos Standard IEEE (Adaptada de [7])

- Europa:

A arquitetura das camadas superiores para a comunicação ITS europeia (ETSI EN 302 663) segue os princípios do modelo OSI e consiste basicamente:

1. A camada de Rede e Transporte, compreende os protocolos de entrega de dados entre estações ITS e das estações para outros nós da rede (por exemplo: Internet). Esta camada contempla dois protocolos importantes, o IP tradicional e um novo recurso de segurança, o *Geonetworking*. O protocolo das redes ITS inclui particularmente o encaminhamento de dados a partir da fonte para o destino através de nós intermédios e disseminação de dados numa área específica – *Geonetworking*. Os protocolos de transporte permitem a entrega de dados *end-to-end*, dependendo dos requisitos de instalações ITS e das aplicações de serviços adicionais, tais como a transferência de dados, controlo de fluxo e evitamento de congestionamento. Um protocolo particular na rede ITS na camada de transporte é o protocolo Internet versão 6 (IPV6).

O uso de IPV6 inclui a transmissão de pacotes nos protocolos da rede ITS, seleção dinâmica da tecnologia de acesso e *handovers* entre eles bem como os problemas de interoperabilidade de IPV6.

2. A camada “Facilities” fornece um conjunto de funções para o suporte de ITS e para ajudar a gerir o sistema. As instalações fornecem estruturas de dados para armazenar, agregar e manter dados de tipos e fontes diferentes.
3. A camada de Aplicação refere-se a diferentes aplicações ITS e usa casos para segurança rodoviária, eficiência do tráfego e *infotainment*.

4. A camada de gestão é responsável pela configuração de uma estação ITS, troca de informação entre as diferentes camadas.
5. A camada de Segurança é responsável pela segurança e privacidade nas diferentes camadas da pilha de protocolos e gestão, por exemplo da entidade da estação e credenciais de segurança [11].

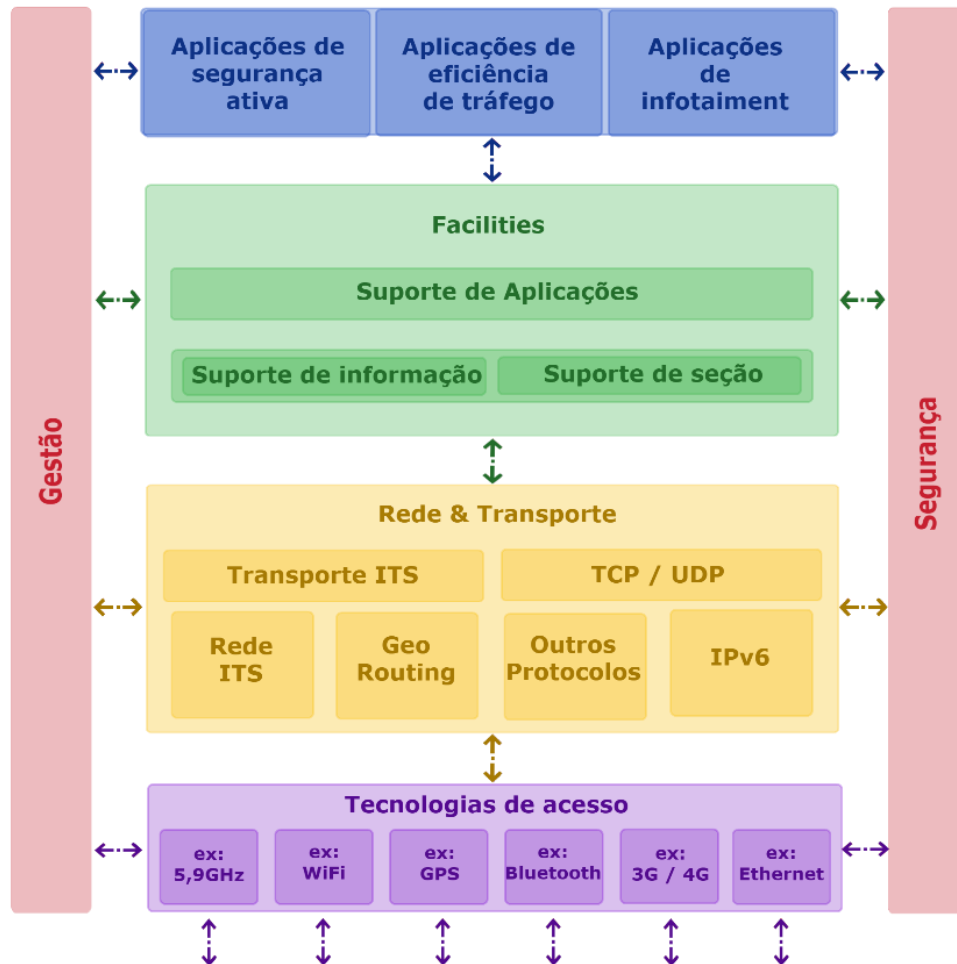


Figura 23: Protocolos ITS na Europa (Adaptada de [11])

- Japão

As normas japonesas são escritas pela ARIB para a banda de 700 MHz. O uso de espectro mais baixo visa apoiar cenários de interseções onde 80% dos acidentes de trânsito ocorrem no Japão, como mencionado anteriormente. Da mesma forma, DSRC (5,8 GHz) é usado e procura a interoperabilidade do dispositivo com outras regiões. A norma ARIB STD-109 "Sistemas de Transporte Inteligente de Faixa de 700 MHz" define a arquitetura para comunicação de veículo a infraestrutura e para comunicação de veículo a veículo. Esta arquitetura é baseada na pilha de protocolos DSRC sem camadas de apresentação / seção / transporte / rede como mostrado na Figura 24. Este facto permite uma disseminação rápida de mensagens (single / multi-hop). Permite também suportar uma camada de aplicação para vários tipos de aplicações baseadas em IP e não baseadas em IP. ARIB STD-109 inclui uma visão geral do sistema, requisitos gerais e técnicos

para equipamentos de rádio, sistema de controlo de comunicação e métodos de medição para o transmissor, recetor e controlador. [7]

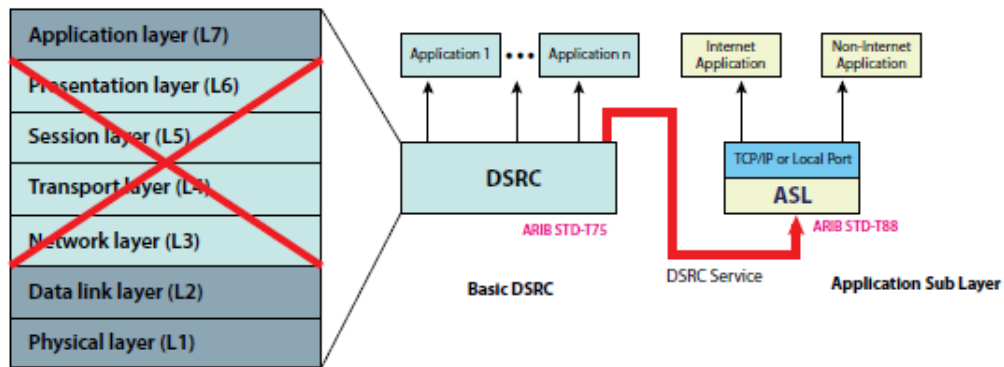


Figura 24: Arquitetura do protocolo ARIB STD-T109 (Retirada de [7])

Anexo C - Características Antena Amphenol



698-960 / 1695-2690 / 1695-2690 MHz

Project Design Requirement
Issue D 2014-11-24

UltraLine-LTE Ready

6880300
6880300A 6880300G

- Triple Band Antenna, dual polarisation, 6 connectors
- Independent tilt on each band 0°-10° / 0°-10° / 0°-10°
- UltraLine platform with multi-array capability
- MET and RET versions, AISG1.1 or 3GPP/AISG2.0
- Single RET module to control all tilt angles, fully inserted inside the antenna (field replaceable)

XXXpol / 65° Az
17.5 / 18.5 / 18.5 dBi
0-10 / 0-10 / 0-10 °
2696 x 305 x 162 mm

Model number options: **6880300** Manual Electrical tilt Antenna
6880300A Remote Electrical Tilt Antenna (AISG1.1)
6880300G Remote Electrical Tilt Antenna (3GPP/AISG2.0)

Access Ports Description (Connectors)									
The Antenna has 6 connectors located at its bottom face and marked with colour rings. See photo next page.									
R1	Ultra Low Band:	698-960 MHz ports			2 x 7-16 DIN female Long Neck				
Y1	Ultra Wide Band:	1695-2690 MHz ports			2 x 7-16 DIN female Ultra Long Neck				
Y2	Ultra Wide Band:	1695-2690 MHz ports			2 x 7-16 DIN female Ultra Long Neck				
Electrical Characteristics	R1			Y1			Y2		
Frequency Bands	700	800	900	1800	2100	2600	1800	2100	2600
Gain (dBi)	tilt 0°	15.5	16.5	17.4	17.7	18.1	18.3	17.7	18.1
	tilt 5°	15.5	16.4	17.3	17.7	17.9	18.1	17.7	17.9
	tilt 10°	15.2	16.2	17.0	17.6	17.8	17.7	17.6	17.8
Input Impedance	50 ohms			50 ohms			50 ohms		
VSWR	<1.5			<1.5			<1.5		
Polarisation	±45°			±45°			±45°		
Horizontal Beamwidth (-3 dB)	73°	67°	67°	65°	65°	65°	65°	65°	65°
Vertical Beamwidth (-3 dB)	8.6°	7.5°	6.7°	6.1°	5.3°	4.2°	6.1°	5.3°	4.2°
Electrical Downtilt range	0° to 10°			0° to 10°			0° to 10°		
Inter/Intra Band Isolation	>25dB			>25dB			>28dB		
Upper Sidelobe Rejection (20° sector above main beam)	18 dB typ.			18 dB typ.			18 dB typ.		
Front to back @180°+/-30°	>25 dB			>25 dB			>25 dB		
Maximum Power (per port)	250 W			200 W			200 W		
Intermodulation 3rd order for 2 x 20 W carriers	<-110 dBm			<-110 dBm			<-110 dBm		



Electrical Downtilt Control

Electrical downtilt can be controlled separately for R1, Y1 and Y2 arrays.

The three tilt indicators are covered by a removable transparent cap.

Manual control: A coloured knob at the end of the tilt indicator allows change of the tilt without need for a tool. Knob colour is identical to connector colours as defined above. To access the knob, the cap is removed by turning it counter clockwise. It is re-installed by opposite rotation.

Remote control: The remote control of the electrical tilt is managed by a module (MDCU) totally inserted at the bottom of the antenna. One single module controls individually the tilt of each band (no need of daisy chain cables between the bands). For RET control, the transparent cap must be in place and locked.

This module does not add any additional length at the bottom of the antenna. The tilt angle indicator stays always visible and the antenna still has manual tilt control (manual override).

RET module part number (one only needed per antenna)	MDCU-A0000 for AISG1.1 protocol (one unit included in 6880300A) MDCU-G0000 for 3GPP/AISG2.0 protocol (one unit included in 6880300G)
--	---

Environmental

Operating Temperature Range -40°C to +60°C

Environmental ETS 300 019

RoHS compliant Yes

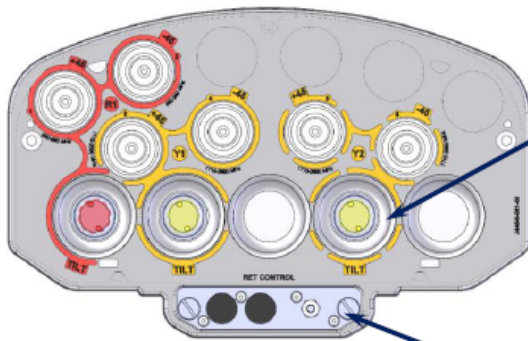
Comunicação Veículo para Veículo

Mechanical Characteristics		
Dimensions (see drawing)	Height: 2696 mm Width: 305 mm Depth: 162 mm	
Weight	29 kg (excluding mounting accessory)	
Shroud	Outdoor plastic, Grey RAL7035	
Wind Speed	Operational: 160 km/h Survival: 200 km/h	
Wind load at 150 km/h	Frontal: 1032 N Lateral: 469 N Rear: 1011 N	
Mounting Kit Options (These installation accessories must be ordered separately)		
Description	Part number	Weight
Brackets for pole 48 to 115 mm	0900393/00	5.1 kg
Brackets for pole 70 to 150 mm	0900501/00	5.8 kg
Kit to add mechanical tilt (0° to 10°) to above brackets	0900394/00	3.1 kg
Wall mounting brackets with azimuth pan	0900395/00	2.3 kg
Wall mounting brackets with mechanical tilt and azimuth pan	0900533/00	4.4 kg

Packaging
Carton box
2.95 x 0.40 x 0.28 m
0.243 m ³ 33.5 kg

Antenna bottom

Tilt indicator covered by a transparent cap.
Manual adjustment is accessed by removing the cap.
Knob colour is same as connectors.



Location of the MDCU for RET control

Installation

Always attach the antenna by its 2 mounting points.
Do not install the antenna with the connectors facing upward.

Dimensions (in mm)

