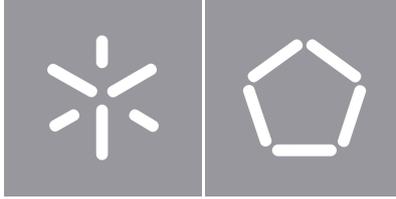


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

ISAÍAS CHICO NAMBISSI EURICO

Estratégias de Monitorização de Tráfego em Cidades Inteligentes



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

ISAÍAS CHICO NAMBISSI EURICO

**Estratégias de Monitorização de Tráfego
em Cidades Inteligentes**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho efetuado sob a orientação de
Maria Solange Pires Ferreira Rito Lima
Paulo Manuel Martins de Carvalho

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho:



CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> [Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original. É a licença mais flexível de todas as licenças disponíveis. É recomendada para maximizar a disseminação e uso dos materiais licenciados.]

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus todo-poderoso, aos meus orientadores professora Maria Solange e professor Paulo Manuel Carvalho. A direção do INAGBE, aos meus familiares e a todos quanto apoiaram direta ou indiretamente agradeço.

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, Braga, novembro 2023

ISAÍAS CHICO NAMBISSI EURICO

Resumo

Atualmente, mais da metade da população mundial vive em centros urbanos e as estatísticas indicam que em 2050 essa percentagem rondará os 70%. A forte concentração da população em urbes, apresenta grandes desafios, principalmente devido à densidade populacional, habitação, circulação, ou a escalabilidade de serviços. Gerir esta realidade, garantindo as condições indispensáveis para uma alta qualidade de vida, é um desafio que as tecnologias inteligentes poderão ajudar a conseguir. A União Europeia define cidades inteligentes, ou *smart cities*, como um conjunto de sistemas e de pessoas que interagem de forma inteligente utilizando energia, materiais, serviços e recursos de forma sustentável. Assim, estima-se que o valor das tecnologias relacionadas com o controle e a monitorização do tráfego em *smart cities* é proporcional à redução dos acidentes de trânsito, congestionamentos urbanos, e outros impactos sociais. São exemplos, a necessidade de comunicação ou controle de tráfego a partir de ferramentas inteligentes que na atualidade é difícil de manipular já que possuem grande impacto económico e social. Para esse efeito, é necessário a implementação de técnicas ou estratégias (amostragem, agregação e filtragem) que vão permitir monitorar fluxos de dados, a fim de garantir eficiência no tratamento de grandes volumes de dados nos múltiplos contextos das cidades. O objetivo desta dissertação é efetuar uma análise crítica sobre estratégias de monitorização veicular, seu impacto e suas limitações frente aos grandes volumes de tráfego gerados pelas *smart cities*. Avaliam-se ainda técnicas contextuais que serviram para a construção de soluções frente aos desafios da mobilidade e transportabilidade no contexto urbano.

Palavras-chave: Monitorização de Tráfego Veicular, Estratégias de Monitorização, Cidade Inteligente, Técnicas de Monitorização Veicular.

Abstract

Currently, more than half of the world's population lives in urban centers and statistics indicate that by 2050 this percentage will be around 70%. The high concentration of the population in cities presents major challenges, mainly due to population density, housing, traffic and the scalability of services. Managing this reality, guaranteeing the essential conditions for a high quality of life, is a challenge that smart technologies can help to overcome. The European Union defines smart cities as a set of systems and people that interact intelligently, using energy, materials, services and resources in a sustainable way. Thus, it is estimated that the value of technologies related to traffic control and monitoring in smart cities is proportional to the reduction in traffic accidents, urban congestion, and other social impacts, such as the need for communication or traffic control from intelligent tools that are currently difficult to manipulate since they have a major economic and social impact. To this end, it is necessary to implement techniques or strategies (sampling, aggregation and filtering) that will make it possible to monitor data flows, in order to guarantee efficiency in the handling of large volumes of data in the multiple contexts of cities. The aim of this dissertation is to carry out a critical analysis of vehicle monitoring strategies, their impact and their limitations in presence of the large volumes of traffic generated by *smart cities*. The work also evaluates monitoring technologies that have served to build solutions to the challenges of mobility and transportability in the urban context.

Keywords: Vehicle Traffic Monitoring, Monitoring Strategies, Smart City, Vehicle Monitoring Techniques.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Objetivos	2
1.2	Estrutura da Dissertação	3
2	Conceitos Introdutórios	4
2.1	Cidades Inteligentes	4
2.2	Monitorização	7
2.2.1	Monitorização Veicular	9
2.3	Transporte Inteligente	11
2.4	Mobilidade Inteligente	14
2.5	Conclusão Parcial	15
3	Estado da arte	17
3.1	Análise de Infraestruturas de Redes Veiculares V2X	17
3.1.1	Tipos de Sistemas de Comunicação Veicular Móvel	19
3.1.2	Classificação das Redes Veiculares Móveis	20
3.1.3	Gestão de Mensagens em Ad Hoc Networks	21
3.1.4	Topologia	22
3.1.5	Principais Desafios	23
3.1.6	Protocolos V2X	24
3.1.7	Vulnerabilidade e Ataques	29
3.2	Áreas de aplicação de Redes Veiculares Inteligentes para Eficiência do Tráfego Urbano	33
3.3	Desafios para Implementação de Monitoramento em Redes Veiculares	35
3.3.1	Técnicas de Monitoramento, Análise e Captura de Tráfego em Redes Veiculares	38
3.4	Técnicas de Localização para Rastreamento de Tráfego	50
3.5	Plataformas de monitorização Open Source para análise e simulação de tráfego veicular	51

3.6	Conclusão Parcial	57
4	Análise Crítica e Discussão de Sistemas de Monitorização de Redes Veiculares	58
4.1	Análise do Sistema de Monitorização de Avarias de Veículos	58
4.1.1	Impacto da Aplicação	61
4.2	Análise de um Sistema de Monitorização e Controlo da Velocidade dos Veículos	62
4.2.1	Requisito de Hardware e Software	63
4.2.2	Impacto da Aplicação	64
4.3	Análise do Sistema de Monitorização de Tráfego Veicular em 3D usando uma única Câmara	64
4.3.1	Impacto da Aplicação	66
4.4	Análise de uma Estrutura de Simulação Multipilha para Testes de Aplicações Veicular V2X	67
4.4.1	Aplicação V2V num Cenário Real de Alerta a Emergência	70
4.4.2	Análise dos Resultados	71
4.5	Reflexão e Desafios	73
5	Conclusões e Trabalho Futuro	76
5.1	Perspetiva de Trabalho Futuro	77

Lista de Figuras

1	Análise comparativa em relação à taxa de desenvolvimento urbano a nível mundial [1]	5
2	Principais pilares que influenciam nas transformações das cidades digitais [1].	6
3	Sistema de gestão de tráfego veicular em fluxo de trânsito cruzado [2]	11
4	Sistemas de distribuição de serviços em cidade inteligente [3]	15
5	Quatro tipos de suporte de aplicações V2X [4].	18
6	Pilha protocolar da arquitetura WAVE [5]	24
7	Protocolos de encaminhamento veicular de tráfego usados em VANETs [6]	26
8	Estrutura de segurança em sistemas de rede [7]	31
9	Monitorização de veículos e do tráfego rodoviário [8]	36
10	Rastreamento de veículos para análise de rotundas [9]	44
11	Diagrama de blocos do sistema do contador de veículos composto por detectores visuais e saídas. [10]	46
12	Arquitetura global do sistema [11]	59
13	Indicação de nível de óleo baixo [11]	60
14	Estado da bateria [11]	60
15	Indicação anormal da posição do acelerador [11]	61
16	Indicação dos gases de escape [11]	61
17	Cartão RFID para identificação do veículo [12]	63
18	Processo de avaliação para deteção de objetos baseado em algoritmo de rede neural profunda [13].	65
19	Classificação e localização de objetos em Ambiente Veicular [13]	65
20	Principais componentes do <i>framework</i> de simulação [14].	67
21	<i>Framework V2I 802.11p</i> baseado em WAVE [14].	68
22	<i>Framework</i> baseado em V2V C-V2X [14].	69

23	<i>Framework</i> V2V 802.11p baseado em WAVE [14].	69
24	Duas capturas de ecrã do <i>SUMO-GUI</i> , mostrando o mapa e o funcionamento da aplicação V2V [14].	71
25	Resultados da simulação V2I/V2N [14].	72
26	Resultados da simulação V2V [14].	72

Lista de Tabelas

1	Análise comparativa entre Transporte inteligente e Transporte convencional	13
2	Análise comparativa entre MANETs e VANETs [6]	21
3	Análise comparativa dos Protocolos WAVE	25
4	Principais parâmetros para monitorar VANETs	37
5	Precisão de contagem de veículos do tráfego de entrada e saída [10]	47
6	Análise das Ferramentas em Estudo	49
7	Comparações de plataformas de simulação Veicular [6]	56

Acrónimos

AODV Ad Hoc On-Demand Distance Vector.

C-V2X Cellular Vehicle-to-Everything.

CAP-VANET Contention-Based Access Protocol for VANETs.

DCMS Distributed Certificate Management System.

DSDV Destination-Sequenced Distance Vector.

DSRC Dedicated Short-Range Communication.

ECU Electronic Control Unit.

EUA Estados Unidos da América.

GSM Global System for Mobile Communications.

ICMP Internet Control Message Protocol.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IoT Internet of Things.

ITS Intelligent Transportation Systems.

LTE Long-Term Evolution.

MAC-VANET Medium Access Control for VANETs.

MANET Mobile Ad Hoc Network.

OBD on-Board Diagnostics.

OBU On-Board Unit.

PPAA Privacy-Preserving Authentication and Authorization Scheme.

RFID Radio Frequency Identification.

RSU Roadside Unit.

SPBR Secure Position-based Routing protoco.

SPIN Security and Privacy in Vehicular Network.

SUMO Simulation of Urban Mobility.

TCP Transmission Control Protocol.

TIC Information and Communication Technology.

TMC Traffic Message Channel.

UDP User Datagram Protocol.

UE União Europeia.

V2N Vehicle-to-Network.

V2P Vehicle-to-Pedestrian.

V2X Vehicle-to-everything.

VANET Vehicular Ad Hoc Network.

VDS Vehicle Detection System.

VE Veículos de Emergência.

VeTRA Vehicle Tracking for Roundabout Analysis.

VSN Vehicle Sensor Networks.

WAVE Wireless Access in Vehicular Environments.

YOLO You Only Look Once.

Capítulo 1

Introdução

Atualmente, há um aumento significativo de zonas urbanas e um crescimento populacional exponencial a nível mundial [15]. Este crescimento deve-se por conta de alguns fatores (economia, educação e saúde, infraestrutura desenvolvida, conectividade e tecnologia) [1].

As cidades costumam ser centros de atividade económica, oferecendo uma ampla gama de empregos, indústrias, comércio e serviços. Muitas pessoas migram para as cidades em busca de melhores oportunidades de emprego e uma maior perspectiva de crescimento profissional [15]. Quanto à educação e saúde, as cidades geralmente possuem melhores infraestruturas em comparação com áreas rurais. Desse modo, a disponibilidade de escolas, universidades, hospitais e clínicas atrai pessoas que desejam acesso a serviços de qualidade nessas áreas [15]. Na mesma perspectiva, acrescentam que, normalmente, as cidades costumam a ter uma infraestrutura mais desenvolvida em termos de transporte, comunicações, energia, água potável e saneamento básico. Esses serviços são essenciais para uma vida mais conveniente e atraem pessoas em busca de uma melhor qualidade de vida [1], [16]. Quanto à conectividade e tecnologia, pode-se dizer que as pessoas estão cada vez mais conectadas e têm acesso a informações sobre oportunidades em diferentes lugares. Isso torna a mobilidade mais fácil e incentiva as pessoas a se deslocarem para as cidades em busca de melhores condições de vida.

Para além dos fatores mencionados é importante ressaltar o impacto do aumento da mobilidade do tráfego veicular que traz desafios significativos para as cidades, como congestionamentos, poluição do ar, emissões de gases de efeito estufa, acidentes, obstruções na via e outras preocupações [17]. Sabe-se que, com o advento da Internet e a sua evolução, tanto em termos de utilizadores, desenvolvimento de novos serviços e aplicações, assim como das relações sociais de base tecnológica e não só, potenciou a criação de grandes volumes de dados, pelo simples facto de haver maior disponibilidade da informação e a interconexão entre sistemas, pessoas que interagem de forma inteligente utilizando energia, materiais, serviços e recursos tecnológicos de forma sustentável. O objetivo dessa informação permite, avaliar, controlar, qualificar, divulgar, compartilhar e assimilar conhecimentos, emoções e intenções de uma so-

cidade em geral e permitir tomar decisões [18], [16]. Neste contexto, o papel da monitorização de tráfego assume um papel fundamental no controlo de aplicações e serviços em cidades inteligentes. Daí, a necessidade da seleção de técnicas e estratégias que permitiram responder de forma eficiente a tais preocupações e desafios, sendo que dentre várias soluções de monitorização de tráfego (Infraestrutura de TICs (*Information and communication technologies*)), o contexto desta pesquisa estará focado de forma profunda sobre o impacto da monitorização veicular como solução para responder às necessidades sobre mobilidade (*Smart Mobility*) no que tange ao tráfego urbano [17]. A monitorização é um processo que envolve coleta, análise e interpretação de dados relacionados ao fluxo de tráfego (humano, veiculares, recursos, serviços e outros) capturados em vias públicas e não só [17]. Sendo que esta tarefa envolve também a utilização de diversas tecnologias de análise, otimização, que permitem coletar informações como, velocidade, padrões de deslocamento e outras métricas relevantes, que serão relevantes para a tomada de decisão nas referidas cidades.

1.1 Motivação e Objetivos

A diversidade de tecnologias e arquiteturas utilizadas no contexto das cidades inteligentes (*smart cities*) tem colocado desafios conforme abordado anteriormente. Tais desafios incluem a monitorização e análise de tráfego das infraestruturas de rede e determinados serviços envolvidos, principalmente quando considerando o uso de dispositivos com severas limitações de recursos e grande volume de dados [19]. Técnicas de monitorização ativas, passivas e híbridas, e as técnicas de redução de volume de tráfego a coletar/analisar, como amostragem, agregação e filtragem, são exemplo de soluções e estratégias a conciliar para uma monitorização eficiente [20]. Neste contexto, cresce a necessidade de desenvolvimento de estratégias para a monitorização eficiente de tráfego, que respeitem as limitações e heterogeneidade inerentes aos diferentes âmbitos das cidades inteligentes.

Além da utilização de técnicas de monitorização ativas, passivas e híbridas, faz-se uma abordagem específica do contexto do trabalho focada nas redes veiculares e baseada nas técnicas *On-Board Diagnostics (OBD)*, *MOBYWIT*, *Vehicle Tracking for Roundabout Analysis (VeTRA)* e nas redes de sensores sem fios. Estas estratégias específicas ou soluções de monitorização de tráfego veicular eficiente que permitiram a coleta e diagnóstico ou simplesmente porque se relacionam com objeto de estudo. De forma geral, é objetivo deste trabalho:

- efetuar o levantamento das abordagens de monitorização mais adequadas a diferentes âmbitos de aplicação das redes veiculares;

- identificar os parâmetros e métricas de interesse para a monitorização, considerando o dinamismo e a heterogeneidade existente;
- discussão de técnicas e métricas de monitorização de redes veiculares de forma específica;
- efetuar uma análise crítica sobre a aplicabilidade das estratégias de monitorização veiculares em cenários reais.

1.2 Estrutura da Dissertação

No presente Capítulo, apresenta-se o contexto e as condições que tornaram viáveis as *Smart Cities*. Também, é abordado de forma breve e sucinta os objetivos desta dissertação.

No Capítulo 2, apresenta-se a base teórica da presente dissertação. Nas secções que compõem este capítulo são descritos os conceitos elementares das Cidades Inteligentes, seu impacto social e tecnológico, apresentam-se também as estratégias necessárias frente aos grandes volumes de dados gerados pelas cidades. Faz-se ainda menção aos conceitos chave da monitorização de tráfego (veicular), principais técnicas e metodologias, como fundamentação teórica se aborda sobre *Smart Transportation* e *Smart Mobility* como soluções para os desafios das *Smart Cities*.

No Capítulo 3, apresenta-se o estado da arte da aplicabilidade das redes veiculares em cidades inteligentes. A pesquisa é dividida em quatro áreas: infraestruturas de redes veiculares, segurança, áreas de aplicação de redes veiculares inteligentes para eficiência do tráfego urbano, desafios para a implementação de monitoramento em redes veiculares. Ao longo das secções deste capítulo, é analisada e discutida extensa bibliografia a respeito dos elementos chaves a apresentados nesta pesquisa. São também discutidas algumas implementações que visam solucionar problemas reais no contexto da monitorização veicular.

No Capítulo 4 é apresentada uma análise crítica e uma discussão que relaciona a área da monitorização veicular em diferentes perspectiva. As secções que compõem o capítulo descrevem o processo e a análise de propostas de sistemas aplicados na área da monitorização, seu impacto, desafios e limitações.

No Capítulo 5, é efetuada uma conclusão do trabalho, sendo apresentadas as perspectivas para um trabalho futuro.

Capítulo 2

Conceitos Introdutórios

Este capítulo tem como principal objetivo enquadrar os conceitos fundamentais deste trabalho, que tem como temática estratégias de monitorização de tráfego em cidades inteligentes. Destacam-se as principais técnicas de monitorização, como monitorização ativa, passiva e híbrida, e as técnicas de redução de grande volume de dados a coletar/analisar como amostragem, agregação e filtragem. Faz-se também uma breve descrição sobre monitorização de tráfego veicular e os seus desafios no contexto de *smart mobility* e *smart transportation*.

2.1 Cidades Inteligentes

As cidades inteligentes podem ser definidas em função de uma visão de melhoria urbana que se apoia em vários paradigmas como a IoT (*Internet of Things*) e nas TICs para proporcionar um ambiente fiável para a resolução dos problemas urbanos [15]. Estas cidades também conhecidas como cidade digitais ou conectadas, são cidades que utilizam tecnologias avançadas de informação e comunicação, com objetivo de melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, bem como otimizar recursos e serviços urbanos e promover um desenvolvimento social mais sustentável [21].

Um estudo da UE sobre renovação urbana mostra que a taxa de urbanização na Europa em 2015 foi de 73%, o que indica uma taxa de urbanização mais elevada do que nos EUA e noutros países fora da UE. Muitos países europeus viveram um longo período de industrialização e urbanização desde o século XIX e no início do século XX, o que levou a uma percentagem significativa da população vivesse em zonas urbanas [15]. Devido à rápida evolução tecnológica e às mudanças na estrutura industrial prevê-se que esta proporção atinja 80% em 2050, conforme indica o gráfico estatístico da Figura 1 [1], [22]. A África e a Ásia, por outro lado, continuam a ser predominantes rurais, com 40% da população em zonas urbanas e 48% em zonas rurais em 2015. Estas regiões enfrentam uma série de desafios associados à urbanização, a falta de infraestruturas adequadas, a pobreza generalizada, os conflitos e as dificuldades de acesso aos

serviços básicos [15]. Além disso, as economias destes continentes ainda estão a desenvolver-se e uma parte significativa da população está envolvida na agricultura e nas zonas rurais.

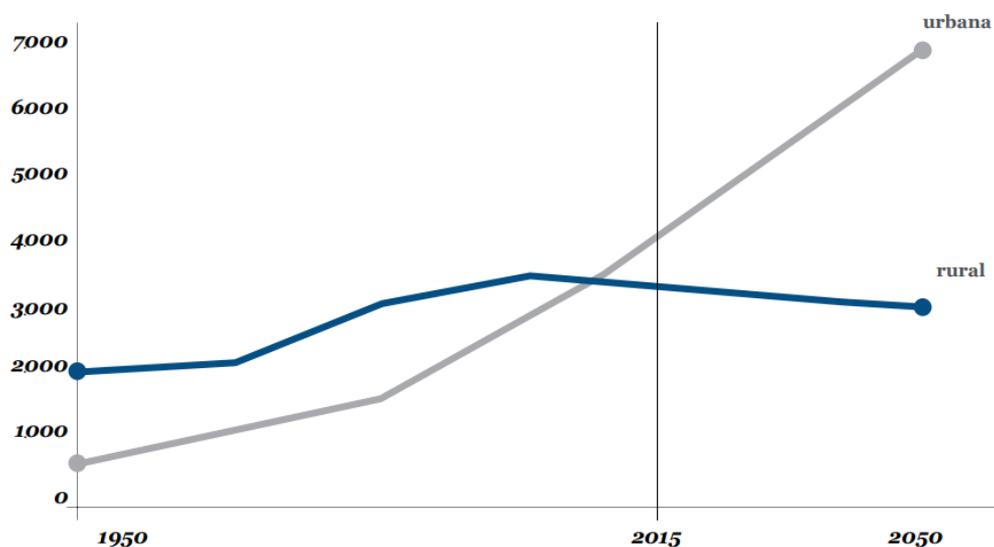


Figura 1: Análise comparativa em relação à taxa de desenvolvimento urbano a nível mundial [1]

No entanto é de notar que estas tendências podem mudar ao longo do tempo. Com a continuação do desenvolvimento económico mais pessoas procurarão oportunidades e melhores condições de vida nas zonas urbanas, o que poderá levar a taxas de urbanização mais elevadas nessas zonas no futuro. As cidades inteligentes podem ser classificadas de diferentes perspetivas, dependendo dos critérios utilizados [15], [17]:

- **Infraestrutura:** neste contexto as cidades possuem infraestruturas avançadas de TICs, e redes de comunicação de alta velocidade, sensores e dispositivos inteligentes.
- **Sustentabilidade:** as cidades inteligentes buscam reduzir o consumo de recursos, minimizar as emissões de carbono e adotar práticas sustentáveis, como o uso eficiente de energia, transporte público eficiente e uma gestão inteligente de resíduos.
- **Governança:** conceito relacionado com as cidades que adotam abordagens inovadoras de governança, envolvendo a participação dos cidadãos, transparência e colaboração entre o governo, setor privado e sociedade civil.
- **Qualidade de vida:** conceito relacionado com as cidades que utilizam tecnologias para melhorar a qualidade de vida dos habitantes, como melhoria do transporte público, segurança, serviços de saúde, educação e acesso a informações.

De forma geral, podemos resumir que estes pilares estão diretamente relacionados com objetivo de alcançar metas conforme a Figura 2.

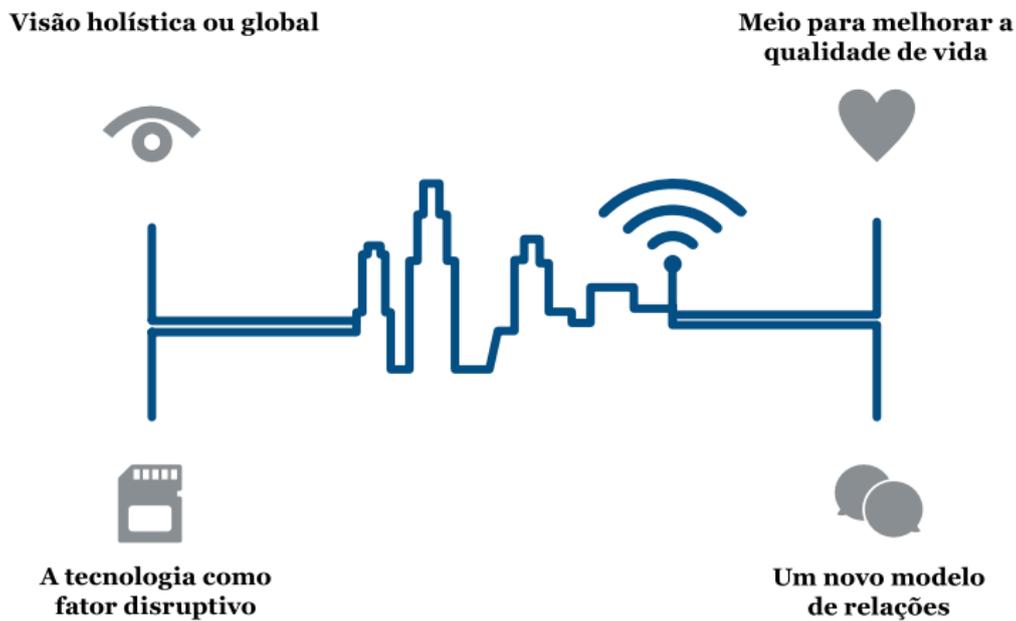


Figura 2: Principais pilares que influenciam nas transformações das cidades digitais [1].

Uma perspectiva holística não aborda os problemas isoladamente, mas procura compreender as interações e relações entre os diferentes aspectos das cidades, como transportes, energia, infraestruturas, segurança, governo e o meio ambiente [17]. Deste modo, podem ser implementadas soluções integradas que abordem várias soluções em simultâneo. Um exemplo dessa integração são os recursos tecnológicos que desempenham um papel importante nas cidades inteligentes, funcionam como um fator de ruptura e proporcionam novas formas de coletar, analisar e utilizar dados para tomar decisões informadas. Outro fator importante é a gestão inteligente de recursos que permite gerir recursos como energia, água, utilização de serviços de transporte e a introdução de soluções inovadoras para a prestação dos serviços públicos de âmbito geral [15]. Além disso, uma cidade inteligente busca estabelecer um novo modelo de relações entre os diversos atores envolvidos, no que tange à relação entre cidadãos, organizações, governos e sociedade civil. A participação ativa e o envolvimento dos cidadãos constitui uma preocupação, permitindo que eles contribuam com ideias e soluções para a melhoria das cidades [17][15]. Os governos desempenham um papel crucial na criação de políticas públicas e regulamentações adequadas para orientar o desenvolvimento das cidades. E as organizações da sociedade civil têm a oportunidade de colaborar e monitorar o progresso garantindo que as cidades sejam inclusivas, equitativas e respeite os direitos dos cidadãos [1]. Fica claro a necessidade de implementar técnicas ou estratégias que sustentam

as cidades inteligentes. De forma geral, descrevem-se algumas destas técnicas [22]:

- Transporte inteligente: envolve sistemas que utilizam sensores e diversos recursos de análise de dados para melhorar o fluxo de tráfego, reduzir congestionamentos, otimizar rotas de transporte público e promover meios de transporte sustentáveis, como bicicletas, veículos elétricos e outros.
- Eficiência energética: assenta em sistemas que utilizam tecnologias para monitorar e gerir o consumo de energia em edifícios e infraestruturas públicas, visando a redução do consumo e a adoção de fontes de energia renovável.
- Gestão de resíduos: recorre a implementação de sistemas inteligentes para coleta de resíduos utilizando sensores para otimizar rotas, reduzir custos e minimizar o impacto ambiental.
- Segurança pública: utiliza recursos de segurança como câmaras de vigilância, sensores para análise de dados com objetivo de monitorar áreas urbanas, detetar atividades suspeitas e responder de forma mais eficiente determinadas situações de emergência.

Os elementos acima citados proporcionam vantagens na melhoria de tráfego veicular como a redução de congestionamentos, bem como a facilidade na deslocação dos transportes públicos e evitar longas filas e ainda projetar espaços que favoreçam a deslocação a pé e reduzir a poluição [22]. Um exemplo dessa melhoria no contexto real é a implementação do sistema de *smartparking* que otimiza e monitora o uso de espaço de estacionamento, melhora a eficiência das operações de estacionamento e auxilia o tráfego na cidade a fluir de forma mais livre.

2.2 Monitorização

O monitoramento de recursos em redes (TICs), de forma geral, pode ser visto como uma das principais soluções eficientes para as *smart cities* [23]. Permite avaliar o desempenho de uma determinada infraestrutura de TIC, no que diz respeito ao tráfego de uma rede em uma organização ou sistema com a finalidade de otimizar recursos de forma mais eficiente e segura. Os processos de monitorização têm tido um crescimento exponencial dia após dia, por causa da necessidade de acompanhar e controlar determinados eventos, atividades ou recursos. Estes processos utilizam técnicas de controlo de tráfego na rede, para estimar o comportamento da rede, saber se existem estreitamentos ou gargalos na mesma e detetar anomalias com base nos métodos de medição de tráfego tais como: medição ativa e medição passiva. Estes métodos de medição estimam tráfego em função de determinadas técnicas e parâmetro

classificados como: *latency*, *jitter*, *packet loss*, *throughput*, entre outros. As técnicas para análise dos dados capturados são várias dentre as quais: amostragem, agregação e filtragem são consideradas como as principais técnicas que atuam nessa área [8]. A monitorização dos recursos (TICs) envolve servidores, infraestrutura de redes, aplicações e serviços. O principal objetivo é garantir que estes sistemas estejam a funcionar corretamente, com finalidade de detetar problemas e tomar medidas corretivas. As estratégias comuns de monitorização de tráfego, incluem a utilização de ferramentas de monitorização automatizadas e definem métricas e indicadores-chave de desempenho (KPI) e criação de alertas para comunicar eventos indesejados. Na hora de fazer análise dos grandes volumes de dados (tráfego) que circula nas redes são necessários implementar técnicas eficientes que vão mitigar sobre tais eventos ou situações. As técnicas de monitorização ativas, passivas e híbridas, juntamente com as técnicas de redução dos volumes de tráfegos a coletar/analisar, como amostragem, agregação e filtragem conforme referido anteriormente, podem ser combinadas para alcançar uma monitorização eficiente conforme se descreve abaixo [20]:

- **Monitorização Ativa:** é uma metodologia que relaciona o envio intencional de tráfego para uma rede ou sistema a fim de avaliar o seu desempenho ou detetar possíveis problemas. Pode se dar o caso que seja necessário incluir na avaliação, testes de carga, testes de segurança ou monitorização proativa de componentes da rede.

Também permite a introdução de tráfego na rede com finalidade de uma medição fim-a-fim de modo a obter indicadores de desempenho através da injeção controlada de dados na rede, alterando assim o seu estado. No momento da análise é possível descobrir na rede situações como atraso em uma via, atraso de ida e volta, perda de pacotes, variação nos atrasos dos pacotes (*jitter*) e outras situações. Em função deste contexto, são inseridos na rede pacotes chamados de sondas (*probes*). Estas sondas são normalmente encapsuladas em outros protocolos como: ICMP, UDP ou TCP com objetivo de obter informações em tempo real sobre o estado e o desempenho das redes [8].

- **Monitorização Passiva:** consiste em observar e analisar o tráfego da rede sem interferir ativamente com o funcionamento normal da rede. Isto é feito através da captura de pacotes de rede, registos de eventos ou análise de registos [8].

A monitorização passiva é útil para compreender o comportamento do tráfego, identificar padrões de utilização e detetar anomalias. O tráfego é capturado num local específico da rede, armazenado e posteriormente processado para produzir estatísticas sobre esse tráfego. Estes monitores podem, portanto, recolher e gerar grandes quantidades de dados de desempenho. Afinal, não

são executados com tanta frequência como os monitores ativos. Estes dados fornecem uma visão mais holística do desempenho da rede. Por conseguinte, podem abranger uma vasta gama de métricas. É a partir destas métricas que os monitores passivos recolhem dados, por conseguinte, informam sobre questões que afetam diretamente os utilizadores [8], [20].

- Monitorização Híbrida: combina elementos de monitorização ativa e passiva. Os sensores de monitorização passiva são por vezes utilizados em conjunto com testes e sondagens periódicos para avaliar a disponibilidade e o desempenho do sistema. Esta abordagem fornece uma visão abrangente do ambiente de rede e melhora a capacidade de detetar problemas [8], [20].

A seguir faremos uma descrição das respetivas técnicas que se aplicam no contexto destas metodologias:

- Amostragem: é uma técnica usada para reduzir o volume de tráfego a ser coletado ou analisado. Em vez de capturar e analisar todos os pacotes da rede, apenas uma amostra representativa é selecionada. Isso reduz a carga de processamento e armazenamento necessário para a monitorização, enquanto fornece uma perceção sobre o tráfego geral [8], [20].
- Agregação: é uma técnica que envolve a combinação de dados semelhantes para reduzir a quantidade de informações a serem analisadas. Por exemplo, é possível agregar informações de vários fluxos de tráfego num único fluxo, consolidando estatísticas ou resumos relevantes. Isso permite reduzir o volume de dados sem perder informações essenciais [8], [20].
- Filtragem: a filtragem é usada para remover dados indesejados ou irrelevantes, concentra-se apenas nas informações necessárias. É possível definir regras de filtragem com base em critérios específicos, como endereços IP, portas de rede, protocolos ou padrões de tráfego. Dessa forma, apenas os dados relevantes são retidos, o que economiza recursos de monitorização [20].

2.2.1 Monitorização Veicular

A monitorização veicular é um processo que difere da monitorização convencional, sendo a monitorização convencional concentrada em supervisionar e controlar eventos, processos ou serviços aplicados as TICs, no que toca à observação direta dos recursos envolvendo coleta de dados por meio de técnicas manuais ou automatizadas [24]. Já a monitorização veicular se preocupa com acompanhamento e controle de frotas de veículos, estradas, pedestres, carros, motocicletas e aponta para eficácia da mobilidade desses tipos de tráfego. Isso pode envolver a utilização de sistemas de rastreamento veicular por *GPS*, sensores incorporados nos veículos, comunicação sem fios e plataformas de gestão de frotas [25], [26]. Na

atualidade, este tipo de monitorização é amplamente aplicado principalmente nas redes de transporte e logística, seguradoras, serviços de emergência e gestão de frotas corporativas [24]. Das pesquisas feitas descrevem-se variedades de soluções no campo da monitorização veicular, faz-se uma breve descrição de algumas soluções de forma geral sendo que o Capítulo 3 deste trabalho faz abordagem mais específica e profunda do mesmo assunto [25], [26]. A seguir descrevem-se alguns componentes que atuam na análise e controlo de tráfego veicular:

- Dispositivo de monitorização interna: são dispositivos instalados no veículo que permitem realizar diagnóstico das partes essenciais do veículo, capturam um conjunto de informações como: velocidade, aceleração, travagem, regime do motor e padrões de condução. Estas informações podem ser utilizadas para monitorizar o comportamento do condutor, detetar colisões e fornecer dados para análise do veículo [27].
- Câmara de vídeo: são dispositivos que usam câmaras de vigilância montadas nos veículos para monitorar visualmente o ambiente à volta dos veículos em trânsito. Podem ser utilizadas para monitorar as condições de condução, registar acidentes rodoviários e recolher provas em caso de acidente ou roubo [27].
- Sensores de telemetria: são dispositivos montados nos veículos para recolher dados sobre o desempenho e o comportamento do veículo. Podem medir parâmetros como: velocidade em trânsito, aceleração, velocidade do motor, temperatura do motor e pressão dos pneus. Estes dados podem ser utilizados para monitorar o desempenho do veículo, detetar problemas e otimizar a eficiência do veículo [27].
- Sistemas de monitorização baseados na nuvem: estes sistemas combinam normalmente várias tecnologias como GPS, telemetria e câmaras, para fornecer uma solução abrangente de monitorização de veículos. Os dados são recolhidos e transmitidos para um servidor em nuvem, onde podem ser acedidos e analisados a partir de um painel de instrumentos em linha. Isto permite monitorar em tempo real e elaborar relatórios para tomada de decisões com base nos dados recolhidos [25], [26].

A Figura 3 representa um cenário que realça o papel e o impacto dos sistemas de monitorização veicular, em fluxo de trânsito cruzado, com a probabilidade de congestionamento de veículos onde o fluxo de trânsito é afetado em todas as direções possíveis da faixa de rodagem. Observa-se que a monitorização de trânsito é imperativa para garantir que situações do género sejam bem-sucedidas. Para isso, dispositivos como

sensores foram instalados em cada faixa de rodagem, bem como um ponto central de gestão que vai permitir gerir os sensores definidos como ponto único de monitorização. Os veículos podem comunicar entre si num sistema V2V ou com uma infraestrutura V2I implementada junto à estrada. Desse modo, cada veículo, de forma inteligente, é orientado por um sistema de sensoriamento na forma como vai proceder, respeitando as regras de trânsito e de forma bem-sucedida [27].

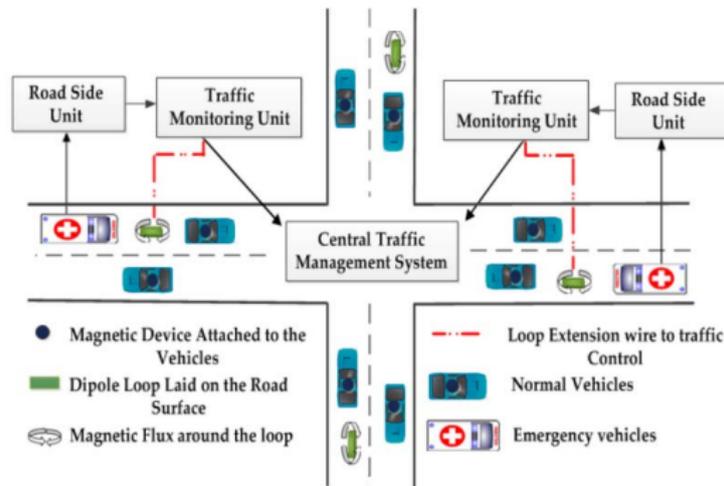


Figura 3: Sistema de gestão de tráfego veicular em fluxo de trânsito cruzado [2]

2.3 Transporte Inteligente

Os recursos tradicionais de transporte rodoviário, como veículos, estradas, terminais e outras infraestruturas de transporte, num futuro próximo serão modificados e alguns descontinuados. Devido a uma necessidade emergente e global que impulsiona novas tendências sobre infraestruturas e recursos tecnológicos que permitem dia após dia efetuar evoluções e transformações nos sistemas de transportes [2]. Estas transformações referem-se à melhoria da segurança, melhor controlo de tráfego e a sustentabilidade desses sistemas [2]. A maneira como os seres humanos e os veículos se movem pelas cidades pode ser um dos grandes desafios dessas transformações. Daí a integração de dispositivos eletrónicos, sensores, comunicação em tempo real, análise de dados e algoritmos para otimizar o fluxo de tráfego, com finalidade de melhorar a experiência dos utilizadores [2]. Os benefícios dessas tecnologias são inúmeros, podendo ser descritos da seguinte forma:

- Eficiência do tráfego: o transporte inteligente utiliza tecnologias como sensores, sistemas de monitoramento e controle de tráfego, algoritmos de roteamento e sincronização de semáforos para otimizar o fluxo de tráfego. Isso pode reduzir congestionamentos, tempos de viagem e consumo

de combustível, resultando num sistema de transporte mais eficiente [28].

- **Segurança:** Os sistemas de transporte inteligentes podem ajudar a melhorar a segurança nas estradas. Por exemplo, um veículo conectado pode compartilhar informações sobre condições de tráfego, acidentes e obstáculos em tempo real, permitindo que outros motoristas ajustem os seus trajetos e velocidades. Além disso, os sistemas avançados de assistência ao motorista como travagem de emergência automática e alertas de colisão podem reduzir o risco de acidentes nas vias públicas.
- **Sustentabilidade:** o transporte inteligente contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. A otimização do fluxo de tráfego ajuda a reduzir o tempo que os veículos ficam parados no trânsito, diminuindo assim o consumo de combustível e emissões. Além disso, a introdução de veículos elétricos e o uso de energias renováveis no setor de transporte são componentes chave de um transporte inteligente e sustentável.

A Tabela seguinte compara os aspetos descritos anteriormente em relação ao transporte tradicionais ou convencional [2].

Descrição	Transporte Inteligente	Transporte Convencional
Eficiência	Otimização do fluxo de tráfego, redução de congestionamentos e tempos de viagem.	Fluxo de tráfego baseado em sinais de trânsito e regras convencionais.
Segurança	Recursos avançados de segurança, como sistemas de assistência ao motorista e comunicação veículo-veículo.	Dependente da habilidade e atenção dos motoristas; menor suporte tecnológico.
Sustentabilidade	Uso de veículos elétricos, energias renováveis e otimização do consumo de combustível para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.	Maior dependência de veículos movidos a combustíveis fósseis e menor uso de tecnologias sustentáveis.
Tecnologias	Sensores, dispositivos eletrônicos, sistemas de monitoramento e controle de tráfego, algoritmos de roteamento e sincronização de semáforos.	Menor uso de tecnologias avançadas para otimização do sistema de transporte.
Impacto ambiental	Redução das emissões de gases de efeito estufa e menor consumo de combustível.	Maiores emissões de gases de efeito estufa e impactos ambientais associados ao consumo de combustíveis fósseis.
Experiência do Utilizador	Maior eficiência no deslocamento, menor tempo de viagem, menor congestionamento e maior comodidade.	Possíveis atrasos devido a congestionamentos, menor controlo sobre as condições de tráfego.

Tabela 1: Análise comparativa entre Transporte inteligente e Transporte convencional

2.4 Mobilidade Inteligente

O crescimento da população mundial e a mobilidade em ambientes urbanos tornou-se uma das áreas de investigação mais importante e interessante no contexto das cidades inteligentes [3]. De acordo com a IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e a *Smart Cities Technical Society*, as cidades inteligentes têm um bom desempenho nos domínios económicos, humano e social. Reúnem tecnologia, governo e sociedades para proporcionar uma economia justa e mobilidade aceitável [3]. Visto que com o rápido aumento do tráfego ao nível de recursos e serviços, a necessidade de uma *smart mobility* tornou-se crescente e gradual. Este processo (*smart mobility*) vai permitir mitigar os desafios que a sociedade atual enfrenta dia a dia, tais como: congestionamento no tráfego de novos serviços, acidentes rodoviários, engarrafamentos, saturação na prestação de serviços, filas longas nos postos de atendimentos, situações que se traduzem em perdas significativas na qualidade de vida das pessoas que procuram meios de estabilidade social. Daí a necessidade de uma solução promissora e inteligente (*smart mobility*) que permitirá a automatização e implementação de diferentes serviços e recursos [3]. A Figura 4 ilustra claramente o papel e importância que a mobilidade desempenha na melhoria do tráfego e na segurança das zonas urbanas, abrangendo uma gama de aplicações que vão desde a deteção da poluição à monitorização do estado das estruturas e à gestão do tráfego de forma inteligente [3].

Estas tecnologias contribuem para as transformações de cidades cada vez mais sustentáveis como se descreve a seguir:

- Deteção da poluição: a mobilidade de tráfego contribui para a deteção da poluição através da monitorização dos níveis de emissão dos veículos e da qualidade do ar nas zonas urbanas. Os sensores e os dispositivos inteligentes recolhem dados e tomam medidas de mitigação para melhorar a qualidade do ar.
- Saúde estrutural: as tecnologias de mobilidade do tráfego, como sensores colocados em pontes, edifícios e veículos ajudam a monitorar o estado estrutural das infraestruturas urbanas e a identificar as necessidades de manutenção e a garantir a segurança pública.
- Tráfego inteligente: a gestão inteligente do tráfego utiliza sensores, câmaras e algoritmos para monitorar e otimizar os fluxos de veículos, reduzir o congestionamento e melhorar a segurança rodoviária.
- Saúde inteligente: a mobilidade do tráfego é também relevante para a saúde, especialmente nas

zonas urbanas, fornecendo serviços de transporte médico, distribuição de medicamentos e monitorização dos doentes em tempo real.

- Detecção de incêndios: os camiões de bombeiros equipados com sensores e comunicações avançadas podem detetar e responder rapidamente a incêndios urbanos, minimizando os danos e salvando vidas.
- Sistemas hídricos inteligentes: a mobilidade dos transportes contribui para a gestão inteligente dos recursos hídricos, permitindo a deteção de fugas, a monitorização da qualidade da água e a otimização da distribuição de água potável.
- Vigilância pública: os veículos de patrulha e as câmaras de vigilância móveis são utilizados para aumentar a segurança pública e responder a incidentes em tempo real, ajudando a prevenir o crime e a responder a emergências [3].

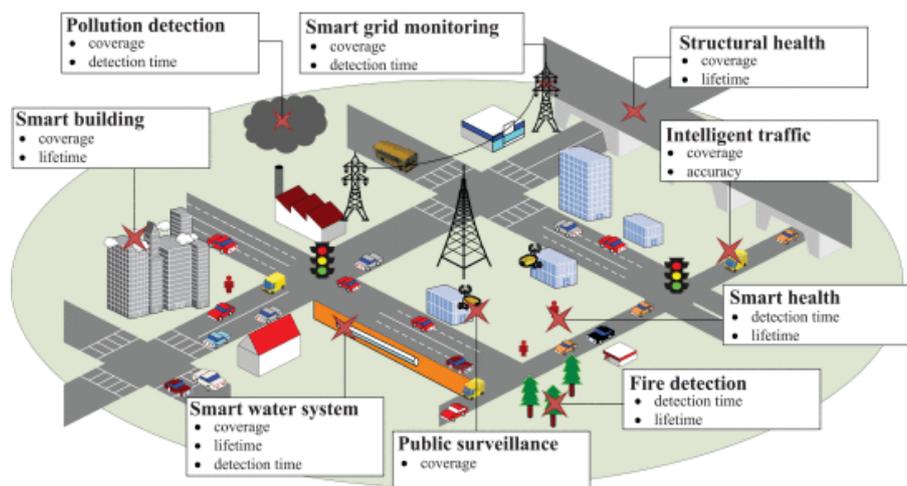


Figura 4: Sistemas de distribuição de serviços em cidade inteligente [3]

2.5 Conclusão Parcial

No presente capítulo abordou-se, de forma introdutória, os aspetos fundamentais relacionado com estratégias de monitorização de tráfego em cidades inteligentes. De forma geral, abordou-se o seu impacto no contexto das cidades tradicionais em relação às *smart cities*, quais metodologias e técnicas seriam as mais adequadas para reformar tais cidades, que vantagens oferecem face aos grandes desafios ou preocupações que se propõem reformar. Foram nesses contextos que se baseou a abordagem. No final, conclui-se que as técnicas de monitorização ativas, passivas e híbridas, e as técnicas de redução do volume de tráfego a coletar/analisar, como amostragem, agregação e filtragem, são exemplo de estratégias

a conciliar para uma monitorização eficiente, é neste linha de pesquisa que se afirma a continuidade deste trabalho, considerando fortemente a análise de tráfego das redes veiculares e a mobilidade de trânsito inteligente que também são de extrema importância, para o balanceamento deste trabalho.

Capítulo 3

Estado da arte

Neste capítulo elabora-se uma pesquisa abrangente com o foco nas propostas promissoras para lidar com diferentes perspectivas da monitorização e gestão de tráfego em redes veiculares. De forma geral, faz-se uma análise mais aprofundada sobre as infraestruturas das redes de comunicações veiculares baseada na arquitetura V2X, relacionando diferentes protocolos envolvidos no processo de comunicação. Posteriormente, discutem-se aspetos fundamentais relacionados a monitorização veicular, faz-se o estudo de ferramentas específicas para análise e recolha de dados. De forma geral, apresentam-se várias soluções em prol de diferentes contextos analisados e deixa-se questões em aberto e diretrizes para futuras contribuições.

3.1 Análise de Infraestruturas de Redes Veiculares V2X

As redes veiculares são sistemas ou conjuntos de tecnologias e recursos que apresentam soluções confiáveis para uma variedade de áreas aplicadas a ITS (*Intelligent Transportation Systems*). Normalmente usam a Internet convencional e outras tecnologias promissoras com dispositivos de comunicação sem fio especializado, que dão suporte à operação e interação nos dispositivos em rede, tudo para garantir eficiências nos serviços e nas implementações em zonas rodoviárias ou regiões urbanas [29]. Dentre várias perspectivas, a infraestrutura das redes veiculares possui um papel fundamental na realização das interações e comunicações veiculares. Dia após dia, a Interconexão de veículos e o avanço da Internet e das tecnologias tem impulsionando novas transformações tecnológicas de forma multidisciplinar. Ao incorporar dispositivos de computação em carros, estradas, ruas e equipamentos de trânsito como placas de trânsito, radares, câmaras de trânsito e outros [29]. A arquitetura de comunicação V2X (*Vehicle-to-Everything*) é um sistema que permite a comunicação entre veículos e seu ambiente, isto é veículo a veículo, infraestrutura viária e de comunicações, pedestres, ciclistas e outros [24]. Este tipo de arquitetura envolve veículos trocando informações entre si, como velocidade, posição e direção. Permite que

os veículos se comuniquem em tempo real, evitando colisões e melhorando o fluxo de tráfego [24]. A comunicação envolve também veículos que se comunicam com infraestruturas como semáforos, sinais de trânsito e outros dispositivos. De forma que os veículos recebam informações sobre as condições da estrada, congestionamento de tráfego e outros fatores que podem afetar a sua jornada [24]. A arquitetura de comunicação V2X normalmente consiste em várias camadas. A camada física trata da transmissão e recepção de dados através do meio de comunicação. Inclui hardware e os componentes físicos necessários para a comunicação, como antenas, rádios e unidades de processamento de sinal. Esta arquitetura se apoia em protocolos como: DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) e o *IEEE 802.11p*, *LTE-V2X*, *C-V2X (Cellular V2X)*, para a sua implantação, permitindo que haja melhor gestão no controlo de colisões, sinais de trânsito ou gestão de tráfego entre nós móveis no trânsito rodoviário. No geral, a arquitetura de comunicação V2X é um componente crítico do futuro do transporte, permitindo viagens mais seguras e maior eficiência nas estradas. Sendo que os respetivos sistemas geram dados, que uma vez coletada e tratada pelos TMC (*Traffic Management Center*), permitem obter informações que contribuem para o desenvolvimento de novos serviços para utilizadores de veículos, indústria, automóvel e fornecedores de rede. A conectividade é então a questão-chave com um valor agregado que vai desde a segurança rodoviária, gestão de tráfego e monitoramento ambiental, até à condução autónoma [24].

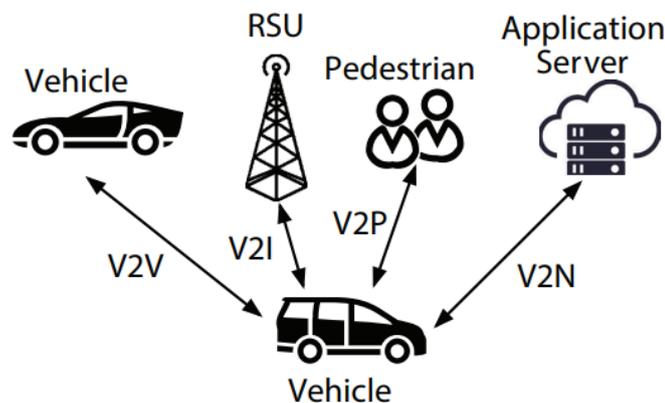


Figura 5: Quatro tipos de suporte de aplicações V2X [4].

Conforme a Figura 5 ilustra o V2X oferece suporte a uma variedade de plataformas de conectividade unificada para as entidades conectadas. Além disso, permite que as entidades rodoviárias transmitam informações como velocidade, posição e direção em tempo real para entidades vizinhas fixas ou em movimento. Em seguida, estas entidades usam essas informações para tomar decisões. O tipo de comunicação depende das entidades que estabelecem o *link*. A seguir faz-se uma descrição dos tipos de

comunicações conforme ilustrado neste ponto [30].

3.1.1 Tipos de Sistemas de Comunicação Veicular Móvel

Neste contexto os veículos são considerados nós de comunicação, pertencem a uma rede auto-organizável sem triagem prévia ou conhecimento de presença uns dos outros [30]. Esses nós são vistos em duas perspectivas: unidades na beirada da estrada (RSUs) e unidades de bordo (OBUs). Os OBUs são dispositivos de rádio frequência montados nos veículos se comunicam com dispositivos instalados nas beiradas da estrada. Enquanto que os *RSUs* são montados na beirada da estrada com objetivo de formar uma infraestrutura de rede onde *RSUs* atuam como encaminhadores (*routers*) entre veículos ou para a rede infraestruturada [30]. A comunicação entre OBUs e RSU é feita através do protocolo *DSRC (Dedicated Short Range Communication)*, permitindo que os OBUs se liguem aos veículos e às *RSUs*. O tipo de conexão apresentada na Figura 5 relaciona diferentes ambientes que caracterizam o sistema *V2X*, sendo assim podem ser enumerados e descritos da seguinte forma [30]:

- comunicação entre veículos (V2V);
- comunicação entre veículos e pedestres (V2P);
- comunicação entre veículos e pontos de acesso (V2N);
- comunicação entre veículos e infraestrutura (V2I);
- sistema de comunicação Híbrido (V2V e V2I).

A comunicação V2V ocorre entre veículos, isto significa que os veículos podem trocar informações entre si, utilizando protocolos de comunicação sem fios, como o *IEEE 802.11p*, ou simplesmente se comunicar através de ondas de rádio. Estas comunicações têm como objetivo partilhar informações vitais, como posição, velocidade atual e condições de tráfego. Esta informação pode também ser utilizada por um veículo especial, como de emergência, para ajustar a velocidade, trajetória, evitando acidentes e reduzir atrasos no trânsito.

A comunicação veículo-pedestre tem como finalidade melhorar a segurança dos peões em ambientes urbanos e em zonas de tráfego intenso, permitindo que os veículos comuniquem informações sobre a sua posição, velocidade e direção aos peões mais próximos da travessia ou situação viária.

A comunicação veículo-infraestrutura, representa a comunicação entre os ativos rodoviários e as unidades de infraestrutura; este tipo de comunicação inclui igualmente a comunicação entre os veículos e as unidades de controlo do tráfego. As redes *ad hoc* sem fios são construídas entre os veículos e as

infraestruturas de tráfego, por exemplo, semáforos, sinais de trânsito, câmaras de vigilância, portagens e estações de base para fornecer comunicações e serviços relacionados com os veículos. Estas redes permitem que os veículos se comuniquem com a infraestrutura de tráfego e acessem a informações sobre as condições de tráfego, condições meteorológicas, avisos de segurança, itinerários alternativos, temporização dos sinais.

A tecnologia *Vehicle-to-Network* suporta a comunicação entre os veículos e a infraestrutura de rede, o que significa que os veículos são ligados a uma rede sem fio e comunicam-se com outras infraestruturas e acessem os serviços de forma local ou remotamente como mapas em tempo real, informações de tráfego, atualizações e navegações.

Um sistema de comunicação híbrido combina soluções V2V e V2I. Neste caso um veículo pode comunicar-se com a infraestrutura rodoviária num único salto ou em múltiplos saltos de acordo com a sua localização em relação ao ponto de ligação com a infraestrutura [24].

3.1.2 Classificação das Redes Veiculares Móveis

As redes ad-hoc podem ser divididas em duas classes estática e móvel [31]. Em redes estáticas *ad-hoc*, a posição de um nó não pode ser alterada após este nó se tornar parte da rede. Em redes móveis *ad-hoc*, os sistemas podem-se mover arbitrariamente, ou seja, uma rede móvel *ad-hoc* é comumente chamada de MANET (*Mobile Ad-hoc Network*) ou VANET (*Veicular Ad Hoc Networks*). A MANET possui uma coleção de nós que formam dinamicamente uma rede para trocar informações sem usar qualquer rede fixa pré-existente ou administração centralizada. A sua alta mobilidade e natureza dinâmica distingue-as de outras redes móveis [31].

As VANETs são veiculares, caracterizadas pela alta mobilidade, topologia dinâmica, padrões de movimento previsíveis, restrições de energia, tamanho de rede ilimitado e comunicações sem fios. As VANETs usam veículos como nós móveis. Neste caso, os nós podem interagir entre si ou por meio de uma infraestrutura de rede conhecida como conectividade sem fios *RSUs*, que tem a capacidade de comunicar entre veículos e nós móveis [31]. Essas tecnologias usam veículos móveis como nós para a construção de redes móveis, ou seja, têm a capacidade de transformar o ambiente rodoviário onde residem os veículos e os nós móveis, num ambiente de encaminhamento onde os nós sem fios (*routers*) têm a capacidade de enviar e receber pacotes, semelhante a uma rede convencional [31]. A Tabela 2 faz uma análise comparativa entre *MANETs* e *VANETs* baseados em alguns parâmetros característicos destes sistemas de comunicação [6].

	<i>VANETs</i>	<i>MANETs</i>
Largura de banda	1000 Kbps	100 Kbps
Alcance da transmissão	500 m	100 m
Custo de Produção	Caro	Barato em relação as VANETs
Tempo de vida dos nós	Depende do tempo de vida do veículo	Depende das fontes de energia
Aquisição de posição	Utilização de GPS, radar	Utilização de ultra-sons

Tabela 2: Análise comparativa entre MANETs e VANETs [6]

3.1.3 Gestão de Mensagens em Ad Hoc Networks

Pelo facto das redes veiculares móveis apresentarem alta mobilidade, a gestão do tráfego ou mensagens acaba por ser um desafio, sendo que todas as entidades rodoviárias devem gerar e trocar mensagens. As mensagens podem ser usadas para suportar uma variedade de aplicações, por exemplo, aplicações relacionadas com segurança, trânsito e entretenimento [32]. As mensagens são categorizadas em quatro tipos:

- Mensagem periódica (*beacon*): a entidade rodoviária transmite periodicamente uma mensagem de estado, que contém informações como velocidade, localização e direção, para as entidades vizinhas. Essas métricas são geradas em intervalos regulares entre 100ms a 1s. Como resultado, cada entidade pode perceber a topologia local. Além disso, as entidades podem prever e antecipar situações perigosas ou congestionamento de tráfego.
- Mensagem acionada por evento local: a entidade rodoviária envia uma mensagem quando um evento local é detetado como um aviso crítico ou uma mensagem de assistência de interseção. As mesmas são enviadas localmente para as entidades vizinhas por meio de *links* V2V/V2P.
- Mensagem acionada por evento global: a entidade rodoviária envia a mensagem quando um evento global é detetado, como trabalhos nas de estradas e congestionamento de tráfego. Essa mensagem precisa ser propagada por uma área mais ampla. Como resultado, as entidades rodoviárias usam o *link* de comunicação V2I para transmitir a mensagem [32].
- Mensagem de veículo de emergência: é usado para suportar um movimento uniforme para veículos

de emergência. É enviado por veículos de emergência para os veículos circundantes usando *links* V2V / V2P para desobstruir a estrada.

Os veículos nesta arquitetura apresentam alta mobilidade devido à velocidade com que viajam nas vias públicas e possuem atualizações instantâneas das topologias da rede, o que significa que a rede efetua acesso simultâneo para troca de informações.

3.1.4 Topologia

Para a conexão e comunicação, as redes veiculares recorrem ao uso de diversas topologias, as quais definem a forma como os veículos se conectam e se comunicam entre si. Abaixo descrevem-se algumas das topologias usadas no contexto das redes veiculares [32].

- Topologia em malha: é uma topologia em que todos os veículos se comunicam diretamente uns com os outros, criando uma rede em malha. Essa topologia é altamente tolerante a falhas, pois se um veículo falhar, a comunicação ainda pode ser mantida por meio de outros veículos. No entanto, essa topologia pode ter um alto *overhead* de comunicação e pode levar a atrasos na transmissão de dados.
- Topologia em árvore: Esta topologia os veículos se comunicam por meio de um veículo raiz (*root*), sendo responsável por encaminhar as mensagens para outros veículos. Esta topologia é útil em situações em que é importante ter um ponto central de controle como em sistemas de gestão de tráfego. No entanto, se o veículo raiz falhar, a comunicação pode ser interrompida.
- Topologia em estrela: nesta topologia, todos os veículos se conectam a um ponto central (por exemplo, uma estação base) sendo responsável por coordenar a comunicação entre eles. Esta topologia é útil para transmissões de curta distância, pois o ponto central pode controlar o uso do espectro de frequência e evitar interferências. No entanto, a topologia em estrela é menos tolerante a falhas, pois se o ponto central falhar, toda a rede pode ser afetada.
- Topologia em *cluster*: esta topologia é uma combinação da topologia em malha e em árvore. Os veículos são organizados em *clusters*, onde um veículo mestre é responsável por coordenar a comunicação dentro do *cluster* e encaminhar mensagens para outros *clusters*. Esta topologia é útil para comunicações de longa distância e para reduzir o *overhead* de comunicação. No entanto, pode ter um alto custo de implantação e manutenção. A implementação destas topologias necessita de protocolos específicos que permitam o sincronismo no contexto de um ambiente veicular.

Em resumo, na as topologias consiste no facto de que a topologia em estrela cada veículo conecta-se a uma estação base central, sendo responsável por gerir a rede e encaminhar os dados. É uma topologia simples e fácil de implementar, mas pode ter problemas de escalabilidade e redundância, enquanto que na topologia *cluster* os veículos são organizados em grupos ou *clusters*, onde um veículo líder atua como ponto de acesso para o grupo. E no caso da topologia em malha cada veículo na rede atua como um ponto de acesso para outros veículos, criando uma rede de malha distribuída. Esta topologia é útil para redes veiculares com alta mobilidade e necessidade de redundância, mas pode ter problemas de complexidade e sobrecarga na rede em relação outras topologias [32].

3.1.5 Principais Desafios

No entanto, o funcionamento eficiente das redes de veículos em larga escala depara-se com uma série de desafios técnicos como [33]:

- Dinamismo dos cenários: os cenários das redes veiculares são dinâmicos e os veículos estão constantemente a entrar e a sair da rede. Os protocolos de comunicação devem, por conseguinte, adaptar-se constantemente às alterações da topologia.
- Escalabilidade: as redes veiculares abrangem um grande número de veículos, o que torna a escalabilidade um desafio. Os protocolos têm de ser concebidos para lidar eficazmente com um grande número de nós sem sobrecarregar a rede.
- Perda de conectividade e tempos de contacto reduzidos: a conectividade entre nós perde-se frequentemente devido à circulação de veículos a alta velocidade e a obstáculos como edifícios e árvores circundantes. Além disso, o tempo em que dois veículos estão suficientemente próximos para comunicar é limitado.
- Protocolos adequados: estas redes exigem que os protocolos sejam adequados ao contexto veicular devido às características únicas destas redes, como a alta velocidade, mobilidade e dinamismo.

Para ultrapassar estes desafios, os protocolos de comunicação para redes veiculares têm de ser especificamente concebidos para satisfazer os requisitos deste ambiente único. Adaptar-se à elevada mobilidade dos veículos e garantir a segurança das comunicações. Devem ser capazes de lidar com mudanças rápidas na topologia, minimizar perdas de ligações, otimizar a utilização do espetro de comunicações, adaptar-se à elevada mobilidade dos veículos e garantir a segurança das comunicações [32].

3.1.6 Protocolos V2X

Nesta secção, faz-se um estudo de determinados protocolos de aplicação contextual que irão mitigar os desafios acima referenciados. Estes protocolos são projetados para permitir a comunicação e segurança, entre veículos e infraestruturas de transporte baseados em dispositivos móveis.

Arquitetura WAVE

A arquitetura WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) é uma norma desenvolvida pelo IEEE para normalizar a comunicação em redes veiculares [32]. A ideia subjacente à arquitetura WAVE é proporcionar uma comunicação eficiente e segura não só entre veículos, mas também entre veículos e infraestruturas rodoviárias, como semáforos e sistemas de controlo de tráfego. A arquitetura WAVE define padrões protocolares conforme a Figura 6.

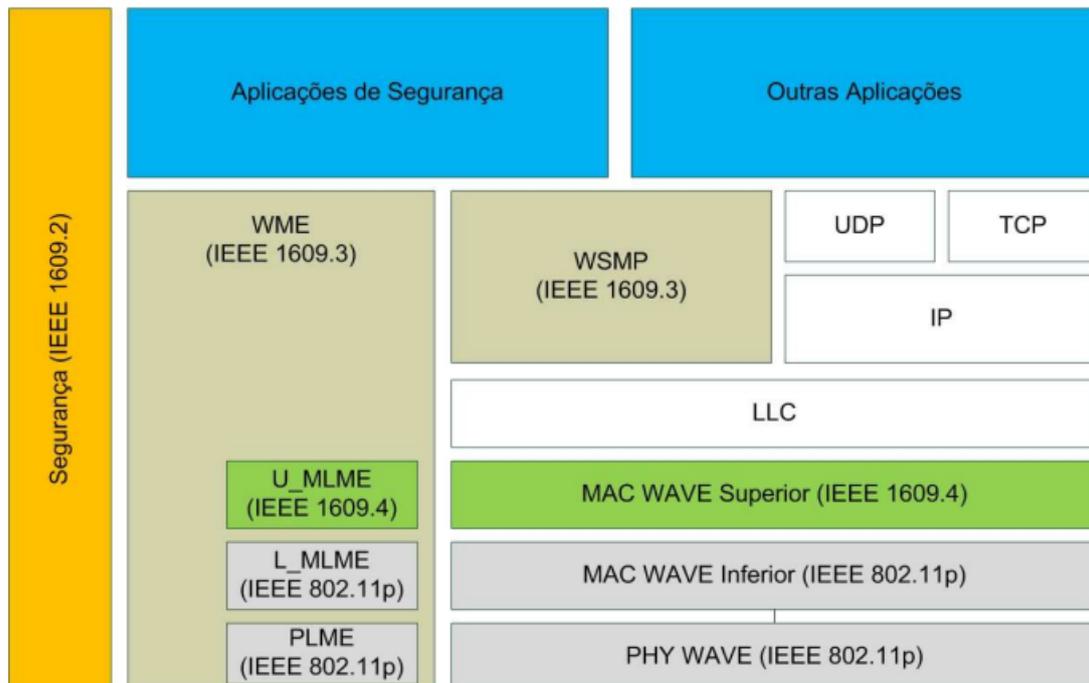


Figura 6: Pilha protocolar da arquitetura WAVE [5]

O IEEE 802.11p é um padrão de comunicação sem fios que opera na banda de frequência de 5,9 GHz, também conhecida como banda ITS. É uma tecnologia de comunicação de curto alcance que permite a transmissão de dados a uma taxa até 27 Mbps. É projetada para ser usada em comunicações diretas, veículos a veículos e comunicações entre veículos e infraestrutura [32]. Apresenta-se na Tabela 3 a descrição de diferentes padrões protocolares e as suas características [32].

Protocolo	Descrição	Funcionamento
<i>IEEE P1609.1</i>	Gestão de mobilidade; descoberta de vizinhos; segurança e privacidade.	Identificação e comunicação entre veículos e infraestrutura; autenticação e segurança nas trocas de informações.
<i>IEEE P1609.2</i>	Autenticação, confidencialidade; integridade	Proteção contra adulteração e interceptação de mensagens.
<i>IEEE P1609.3</i>	Encaminhamento de mensagens; comunicação ponto a ponto e multiponto.	Eficiente encaminhamento de mensagens entre veículos e infraestrutura.
<i>IEEE P1609.4</i>	Alocação de canais de comunicação; qualidade de serviço.	Gestão na utilização dos canais de comunicação.
<i>IEEE 802.11</i>	Especificações de comunicação sem fios; protocolos de acesso ao meio.	Comunicação sem fios entre dispositivo.
<i>IEEE 802.11p</i>	Adaptado para redes veiculares; troca rápida de informações de segurança; alta mobilidade.	Comunicação sem fios otimizada para ambientes veiculares.

Tabela 3: Análise comparativa dos Protocolos WAVE

Cada protocolo da Tabela 3 desempenha um papel importante na arquitetura *WAVE*, assegurando um intercâmbio de dados coordenado, eficiente e seguro entre os veículos e a infraestrutura. Alguns protocolos centram-se em aspetos específicos, como segurança ou encaminhamento, enquanto outros abrangem uma camada ampla da pilha de protocolos para garantir o bom funcionamento das redes veiculares. São descritos da seguinte forma [5]:

- *IEEE P1609.1*: define interfaces de serviço para redes veiculares, incluindo gestão da mobilidade, segurança e descoberta de vizinhos.
- *IEEE P1609.2*: define serviços de segurança para comunicações veículo-veículo, incluindo autenticação, confidencialidade e integridade de mensagens.

- *IEEE P1609.3*: define camada de rede para comunicação em redes veiculares, incluindo o encaminhamento de mensagens entre veículos e entre veículos e infraestruturas.
- *IEEE P1609.4*: define a gestão dos recursos de comunicação, incluindo atribuição de canais e qualidade de serviço.

Encaminhamento em Redes Ad-hoc

Para além da arquitetura *WAVE*, existem outros padrões de protocolos aplicados as *VANETs*, conforme ilustrado na Figura 7, são agrupados nas categorias descritas abaixo como reativo, proativo e híbrido, sendo que os protocolos reativos são também conhecidos como protocolos sob demanda, projetados para encaminhar os pacotes somente quando necessário. Quando um nó deseja enviar um pacote, envia uma mensagem de solicitação de encaminhamento para os seus vizinhos, e os vizinhos encaminham a mensagem para os seus próprios vizinhos, até que a mensagem alcance o nó que sabe como chegar ao destino [6]. Um protocolo proativo, também conhecido como protocolo de estado de *link*, mantém informações de encaminhamento para todos os destinos possíveis em todos os nós da rede [6]. Os nós periodicamente enviam atualizações de estado de *link* para os seus vizinhos que, por sua vez, atualizam as suas próprias tabelas de encaminhamento [6].

Um protocolo híbrido é uma combinação dos protocolos do tipo reativo e proativo, usa a abordagem reativa para descobrir rotas para destinos desconhecidos e a abordagem proativa para manter rotas para destinos conhecidos. Um protocolo híbrido é útil em ambientes onde a topologia da rede é semi-estável e há uma combinação de largura de banda alta e baixa. De forma detalhada ou arquitetural, estão classificados conforme a Figura 7 [6].

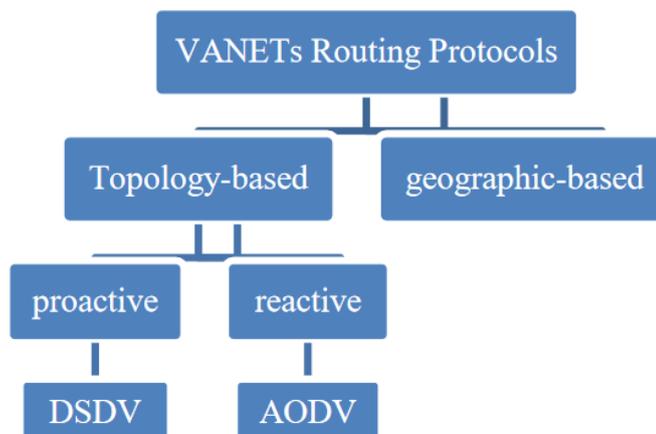


Figura 7: Protocolos de encaminhamento veicular de tráfego usados em *VANETs* [6]

Um protocolo de encaminhamento *ad-hoc* é um conjunto de procedimentos e regras que governam a comunicação entre veículos e dispositivos de rede sem fios *ad-hoc*. Permite que os veículos compartilhem informações sobre as condições da estrada, como congestionamento, acidentes e passam a comunicar uns com os outros para coordenar as suas ações [6]. O primeiro passo é a descoberta de vizinhos, onde os veículos se comunicam uns com os outros para descobrir quem está ativo e quem não está. Isso é feito através de mensagens de *broadcast* que são enviadas periodicamente pelos veículos. Uma vez que os vizinhos são descobertos, os veículos cooperam para formar uma rede ampla e crescente *ad-hoc*. Através da troca de informações de identificação, como endereços IP, endereços MAC. O próximo passo é o encaminhamento, onde os veículos trocam informações sobre rota mais curta e mais rápida para alcançarem os destinos [6]. A troca de mensagens de encaminhamento contém informações sobre a localização do veículo e os destinos finais. Uma vez que as informações de encaminhamento são trocadas, cada veículo seleciona a melhor rota para o seu destino com base em critérios como distância, velocidade do veículo, condição da estrada e outros. Uma vez que a rota é selecionada, as mensagens são encaminhadas pelo veículo até o destino final [6]. Se a mensagem não for entregue, o veículo reencaminha a mensagem para outros veículos que podem ajudar a entregá-la ao destino. Se um veículo deixar a rede, a rede reorganiza-se automaticamente para encontrar outras rotas para entregar as mensagens. De seguida, faz-se uma descrição das funcionalidade dos principais protocolos de encaminhamento das redes veiculares Ad Hoc:

- *DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)*: é um protocolo proativo de encaminhamento *ad hoc* que permite a comunicação entre nós móveis em tráfego viário, utiliza um algoritmo de vetor de distância para tomar decisões de encaminhamento de pacotes do respetivo tráfego. Cada nó *ad hoc* possui uma tabela de encaminhamento DSDV com a lista dos possíveis destinos e as rotas associadas. As rotas são atualizadas de forma dinâmica na tabela de rotas e de forma sequencial, isto significa que, em intervalos regulares, os nós compartilham informações sobre as suas tabelas de encaminhamento com os nós vizinhos. Isso é feito para garantir que os nós estejam cientes das rotas disponíveis e as suas respetivas sequências. O DSDV usa uma métrica de distância para determinar a rota mais adequada para um destino. Isso pode ser a contagem de saltos número de nós intermediários ou outras métricas, dependendo da configuração da rede [34].
- *Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*: é um protocolo de encaminhamento reativo que foi concebido para ser eficiente em termos de largura de banda. É utilizado em redes *Ad hoc* para comunicar entre dois ou mais pontos na rede usa, *RREQs* para propagar pacotes na rede até chegarem a um nó de destino ou a um nó com uma rota conhecida para o destino. Também

suporta a manutenção de rotas para lidar com falhas de ligação e alterações da topologia da rede. Utiliza a largura de banda de forma eficiente, e cria rotas apenas quando necessário. Tal como o *DSR*, o *AODV* pode sofrer de latência e congestionamento, especialmente em redes altamente dinâmicas [6].

- *Dynamic Source Routing (DSR)* : é um protocolo de encaminhamento *ad hoc* para redes sem fios baseado numa abordagem reativa, em que as rotas não são previamente estabelecidas, mas sim descobertas sob demanda pelos nós da rede. Numa rede com *DSR*, quando um nó precisa enviar um pacote para um destino que não está diretamente acessível, consulta a sua tabela de rotas para determinar se conhece uma rota para esse destino. Se não houver uma rota conhecida, o nó inicia uma busca por uma nova rota a busca por uma nova rota começa enviando um pacote de encaminhamento (*RREQ*) para todos os nós vizinhos [35]. O pacote *RREQ* contém informações sobre o nó de origem, o nó de destino e um identificador único para a busca por rota atual. Cada nó que recebe um *RREQ* verifica se é o nó de destino ou se conhece uma rota para o destino. Caso um nó possa ajudar na busca, envia o pacote de resposta de encaminhamento (*RREP*) de volta para o nó de origem, contendo informações sobre a rota encontrada, senão a busca continua [35], [6]. Se o nó de origem recebe um *RREP*, ele adiciona a rota à sua tabela de rotas e começa a enviar pacotes para o destino ao longo da rota encontrada. Se a busca por rota falhar, o nó de origem pode tentar novamente mais tarde ou pode optar por não enviar o pacote [35], [34].
- *Cluster-based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks (CBR-VANETs)*: é um tipo de protocolo de encaminhamento projetado para comunicações em redes veiculares *VANETs*. Este protocolo baseia-se no conceito de agrupamento, no qual os veículos são organizados em *clusters* (grupos) e na proximidade geográfica. Cada *cluster* é liderado por um veículo designado como *Cluster Head (CH)*, que é responsável por gerir as comunicações dentro do *cluster* e encaminhar as mensagens para os nós vizinhos ou para outros *clusters* [35],[6].
- *Secure Position-based Routing protocol (SPBR)*: é um protocolo de encaminhamento baseado em posição para redes sem fios, que tem como objetivo fornecer uma comunicação confiável e segura entre os nós da rede. O *SPBR* utiliza informações de localização dos nós para determinar a rota mais eficiente entre a origem e o destino de uma mensagem. Também utiliza criptografia e autenticação para proteger as informações transmitidas contra ataques de intercetação e falsificação de identidade [34].

Protocolos de Acesso ao Meio

De forma complementar, pela sua importância no contexto deste estudo, descrevem-se dois protocolos de acesso ao meio:

- *Medium Access Control protocol for VANETs (MAC-VANET)*: este protocolo de control de acesso é projetado para permitir que os veículos comuniquem uns com os outros de forma eficiente e confiável, garantindo o uso justo do canal de comunicação [6]. O objetivo do MAC-VANET é coordenar o acesso ao meio de transmissão para que os veículos possam compartilhar informações, como posição e velocidade do veículo, alertas de segurança e outros dados aplicativos. O protocolo MAC-VANET deve garantir que todos os veículos tenham uma oportunidade justa de transmitir os seus dados, enquanto minimiza colisões e outros problemas que podem ocorrer numa rede sem fios de alta mobilidade.
- *Contention-Based Access Protocol for VANETs (CAP-VANET)*: O protocolo CAP-VANET é baseado num mecanismo de contenção que usa um temporizador de espera aleatório para controlar o acesso ao meio. Quando um veículo deseja transmitir dados, primeiro escuta o canal para detetar se está livre. Se o canal estiver ocupado, o veículo escolhe um tempo aleatório de espera antes de tentar transmitir novamente. Isso ajuda a reduzir as colisões de pacotes que ocorrem quando vários veículos tentam transmitir em simultâneo [35]. Além disso, o CAP-VANET usa um mecanismo de prioridade às mensagens de segurança críticas. As mensagens de segurança são transmitidas com uma prioridade mais alta do que as mensagens regulares para garantir que cheguem ao destino com o mínimo atraso possível [35].

3.1.7 Vulnerabilidade e Ataques

Conforme se abordou no ponto anterior, as VANETs implementam vários protocolos de segurança e muitos desses protocolos não se adaptam a determinadas situações como alta mobilidade dos nós, fatores climáticos, obstruções e sinistralidade nas vias pública ou simplesmente ataques cibernéticos baseado em técnicas comportamentais, estes fatores críticos podem tornar estas redes vulneráveis a ataques [36].

Vulnerabilidades são pontos fracos em que um sistema ou uma rede possui [36]. Esses pontos podem ser explorados por um utilizador ou recurso mal-intencionado denominado atacante com a finalidade de comprometer a segurança e a integridade do sistema [36]. Em VANETs, as vulnerabilidades podem surgir de várias maneiras, como a falta de autenticação adequada, criptografia fraca, protocolos inseguros, falta de atualizações de segurança, entre outros. Por exemplo, se a comunicação entre veículos não

estiver adequadamente protegida, um atacante pode interceptar ou alterar mensagens, causando problemas de segurança. De seguida faz-se uma descrição dos tipos de ataques em redes veiculares e tipos de comportamentos maliciosos que afetam a integridade dessas redes. De igual modo, faz-se também uma análise sobre os mecanismos que poderiam minimizar o impacto das vulnerabilidades mencionadas [7], [36]:

- Ataques de autenticação e integridade: os atacantes podem alterar as informações do veículo e as mensagens de segurança, dificultando para os outros veículos distinguirem entre informações verdadeiras e falsas. Esta situação pode provocar acidentes e perturbações no tráfego.
- Ataques de replicação: os atacantes podem interceptar e reproduzir mensagens legítimas, confundindo os veículos e inundando a rede com mensagens repetidas. Esta situação pode levar ao congestionamento da rede e a atrasos nas comunicações.
- Ataques de falsificação: os atacantes podem falsificar a identidade de veículos legítimos para enganar outros veículos e as autoridades de trânsito. Isto pode levar a um comportamento perigoso na estrada.
- Ataques de negação de serviço: os atacantes podem sobrecarregar a rede com um grande número de mensagens falsificadas e inutilizar os veículos legítimos, por insuficiência de recurso. Isto pode levar a perturbações significativas do tráfego.
- Ataques de localização: o movimento de um determinado veículo é monitorizado durante um longo período de tempo com o objetivo de violar a privacidade dos condutores ou recolher informações sensíveis.
- Ataques de *malware* e vírus: Os veículos podem ser infetados com *malware* que pode perturbar sistemas críticos como os travões e a direção e representar um risco de segurança significativo.
- Ataques físicos: ataques físicos como o roubo de hardware, danos nos sensores e nas comunicações podem afetar a segurança da rede e do veículo.

Conforme a Figura 8, a segurança das VANETs é uma questão crítica, uma vez que está diretamente relacionada com a segurança dos condutores e a integridade do sistema de transportes. Por conseguinte é essencial aplicar medidas rigorosas para proteger a rede de potenciais ameaças. Para mitigar essas ameaças é necessário implementar determinados mecanismos ou serviços de segurança, tais como: (i)

encriptar dados de forma a proteger as mensagens e garantir autenticidade, integridade das comunicações. (ii) Utilizar mecanismos de autenticação para verificar a identidade das ferramentas e garantir que as mensagens provêm de uma fonte fiável. (iii) Optar por implementar sistemas de deteção de intrusões e algoritmos de análises comportamentais, monitorar o tráfego da rede para detetar atividades suspeitas e ataques em tempo real. (iv) Implementar tecnologias para proteger a privacidade dos condutores devido partilha regular de credenciais e limitação da quantidade de informações pessoais partilhadas. Garantir que os veículos estejam atualizados com *patches* de segurança e protegidos contra *malware*. (v) Reforçar a segurança física dos veículos e da infraestrutura da rede para evitar ataques físicos [7].

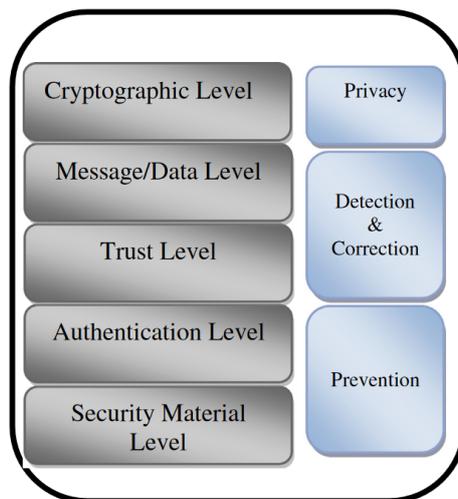


Figura 8: Estrutura de segurança em sistemas de rede [7]

A seguir descrevem-se protocolos que implementam critérios de segurança apresentados como solução para responder situações de ataques e vulnerabilidades em VANETs:

- Protocolo *Security and Privacy in Vehicular Networks (SPIN)*: é um conjunto de técnicas de segurança e privacidade projetado especificamente para redes veiculares. possui mecanismos para autenticação de veículos, criptografia de dados, deteção de anomalias e proteção contra-ataques de negação de serviço. Também inclui recursos para proteção da privacidade dos utilizadores, como o uso de pseudónimos para evitar a identificação individual [35]. Para garantir a segurança dos dados durante a transmissão, é utilizado um método de criptografia para codificar os dados antes de serem enviados. Isso impede que terceiros mal-intencionados possam interceptar ou visualizar os dados em trânsito. Além disso, a eficiência na transmissão dos dados é alcançada por meio de diferentes técnicas, como a compressão de dados, que reduz o tamanho dos arquivos a serem transferidos mais rapidamente e o controle de fluxo, que gere a quantidade de dados que

são enviados de uma só vez para evitar sobrecarregar a rede [35].

- *Distributed Certificate Management System (DCMS)*: é um sistema de gestão de certificados distribuído projetado para uso em contextos veiculares. É usado para gerir certificados digitais e chaves criptográficas usadas para garantir a segurança e privacidade de comunicações entre veículos e dispositivos conectados a estes, como sensores, dispositivos móveis e infraestrutura de tráfego. Num ambiente veicular, os veículos estão em constante movimento e em comunicação uns com os outros e com a infraestrutura circundante [35]. O DCMS fornece uma maneira segura e confiável de gerir as credenciais de segurança necessárias para essas comunicações, garantindo a autenticidade, confidencialidade das informações trocadas e a integridade das transações. O DCMS é baseado numa arquitetura distribuída, onde cada veículo possui um certificado digital e uma chave criptográfica que são geridos localmente. No entanto, esses certificados e chaves são registados num servidor centralizado, chamado Autoridade de Certificação (AC), que fornece serviços de encaminhamento de certificados para todos os participantes da rede. Também inclui mecanismos de revogação de certificados para garantir que um certificado comprometido ou não válido não seja usado para comunicações seguras. Além disso, fornece recursos para distribuir atualizações de certificados e chaves criptográficas para veículos individuais de forma segura e eficiente [35].
- *Privacy-Preserving Authentication and Authorization Scheme (PPAA)*: é um esquema de autenticação e autorização que preserva a privacidade dos utilizadores, tornando-se especialmente útil no contexto veicular [35]. Neste contexto os motoristas e os seus veículos precisam ser autenticados e autorizados para aceder a determinados serviços, como cobrança eletrónica de portagens ou estacionamento, acesso a informações de tráfego em tempo real ou até mesmo acesso a serviços de entretenimento. O PPAA permite que essas autenticações e autorizações ocorram sem expor a identidade dos motoristas ou informações confidenciais do veículo, como a sua localização ou dados de identificação pessoal. Isso é possível por meio da utilização de criptografia e técnicas de preservação de privacidade [35]. Em suma, o PPAA possui um mecanismo seguro e privado de autenticação e autorização de utilizador garantindo que as informações pessoais e do veículo permaneçam protegidas.

3.2 Áreas de aplicação de Redes Veiculares Inteligentes para Eficiência do Tráfego Urbano

Nesta secção apresenta-se uma descrição pormenorizada sobre impacto e benefícios das principais áreas das redes veiculares, isto em diferentes domínios da mobilidade urbana e suas aplicações. As redes de veículos inteligentes proporcionam uma série de benefícios desde eficiência no trânsito dos transportes públicos, no que toca a segurança, a melhoria do fluxo de tráfego até garantia de conforto. A procura de sistemas de transporte centrados na eficiência, segurança e sustentabilidade conduz a várias, reflexões sobre as referidas áreas. A seguir faz-se uma breve descrição das respetivas áreas [37].

Segurança

A segurança é uma das aplicações mais importantes das redes veiculares, por exemplo, se um veículo deteta um obstáculo na estrada, o mesmo pode enviar uma notificação a outros veículos nas proximidades. Os condutores desses veículos podem receber as notificações em tempo real e tomar medidas para evitar situações de sinistralidade ou acidentes. Este procedimento pode contribuir também para reduzir os ferimentos e mortes nas vias públicas. Além disso, os sinais de segurança podem ser utilizados para avisar os condutores de situações perigosas que afetam a segurança do condutor e dos passageiros, como pavimentos molhados, gelo na superfície da estrada ou veículos que se aproximam a alta velocidade. Estes sistemas desempenham um papel importante não só na melhoria do tráfego e da segurança, mas também na redução dos acidentes rodoviários e na proteção dos passageiros [32].

Melhor Fluxo de Trânsito

Utilizando sensores e comunicações entre veículos, os semáforos podem ser ajustados em tempo real para melhorar o fluxo de tráfego. Isto ajuda na alteração da temporização dos sinais com base no volume de tráfego, análise de rotas alternativas para contornar o congestionamento ou mesmo a alteração do limite de velocidade em algumas secções. São medidas ou procedimentos que previnem o congestionamento, acidentes e ajudam a obter informação sobre a faixa de rodagem ou pista. [32].

Controlo de Engarrafamentos

A importância de conectar os veículos entre si, permite a partilha de informações de trânsito, de forma que os condutores evitem congestionamento em zonas movimentadas, orientando-os para percursos al-

ternativos. Além disso, os sistemas de navegação em tempo real permitem que os condutores evitem autoestradas congestionadas encontrem rotas mais rápidas e eficientes. Isto reduz os tempos de viagem e minimiza o impacto do congestionamento e melhora a qualidade do trânsito dos condutores e passageiros [32]. Os sistemas de inteligência veicular melhoram a resposta a emergências e permitem que ambulâncias, carros de bombeiros e polícia se desloquem rapidamente e em segurança pelo centro das cidades. A comunicação veículo-veículo permite que as ambulâncias recebam informações sobre o tráfego em tempo real e escolham as rotas mais rápidas e eficientes para chegar aos seus destinos. Além disso, o sistema de comunicação pode alertar os condutores para darem prioridade à ambulância, evitando atrasos e reduzindo o tempo de resposta em emergências [37].

Informações Sobre as Estradas

Aplicações inteligentes veiculares ajudam os condutores a prepararem-se para estradas em mau estado, fornecendo informações em tempo real sobre as condições da estrada. Por exemplo, os sensores rodoviários podem detetar secções de estrada com gelo ou neve ou qualquer outra situação de obstrução e transmitir essa informação aos veículos próximos, permitindo que os condutores reduzam a velocidade ou tomem medidas [37].

Além disso, os sistemas de informação de tráfego podem fornecer informações sobre obras rodoviárias, congestionamentos, acidentes e outros eventos que podem afetar a qualidade do tráfego, permitindo aos condutores tomar decisões informadas e evitar atrasos [32]. Essas informações podem também ser utilizadas para coordenar sistemas adaptativos de gestão do tráfego e melhorar a eficiência do tráfego urbano [37].

Condução Autónoma

A condução autónoma refere-se à capacidade de um veículo funcionar autonomamente sem intervenção direta do condutor, utilizando tecnologias como sensores, sistemas de processamento de dados e algoritmos avançados. A condução autónoma tem o potencial de revolucionar a indústria automóvel e os transportes em geral, proporcionando uma série de benefícios, incluindo maior segurança, eficiência e mobilidade [32].

As tecnologias utilizadas para a condução autónoma ajudam nos sistemas de processamentos de dados, cartografia e localização. Estes sistemas usam algoritmos de inteligência artificial para automatização dos processos. De forma geral esses mecanismos podem ser descritos da seguinte forma:

- Sistemas de processamento: são computadores de bordo potentes que processam os dados dos

sensores em tempo real e tomam decisões de condução.

- Algoritmos de aprendizagem automática: são técnicas que permitem compreender e prever o comportamento de objetos e as suas ações neste contexto, pode-se considerar veículos, peões ou qualquer objetos, que se adaptam a diferentes situações de tráfego. [37].
- Cartografia e localização: refere-se a sistemas de posicionamento global precisos e mapas pormenorizados que permitem que os veículos se localizem e naveguem com precisão.

Os desafios à adoção generalizada da condução autónoma, exigem responsabilidade, regulamentação, fiabilidade em condições adversas, interação com os veículos convencionais e a aceitação do público.

Conforto

Aplicações veiculares fornecem informações em tempo real sobre as condições ambientais, como temperatura e humidade, para ajustar o sistema de climatização de acordo com as preferências dos utilizadores [37]. Outra aplicação interessante são os sistemas de entretenimento que foram integrados nas redes veiculares inteligentes para oferecer uma ampla variedade de serviços de entretenimento e conectividade aos utilizadores [32]. Por exemplo, os sistemas de navegação em tempo real podem fornecer informações sobre pontos turísticos, restaurantes e outras atrações próximas, enquanto os sistemas de comunicação veicular podem permitir que os passageiros acessem à Internet, enviem e-mails e façam chamadas telefônicas. Os sistemas de comunicação veicular também podem ser usados para ajustar a acústica do veículo, reduzindo o ruído do tráfego e melhorando o conforto acústico [32]. Os microfones instalados no veículo podem detetar o ruído externo e enviar informações para o sistema de áudio do veículo, que ajustará o volume e a equalização do som para fornecer uma experiência mais confortável aos utilizadores [37].

3.3 Desafios para Implementação de Monitoramento em Redes Veiculares

A monitorização veicular pode ser vista como uma solução eficiente e diferenciada, frente aos grandes desafios abordados nos Capítulos anteriores no que toca as redes veiculares [8]. É um processo de captura e análise de dados relacionadas ao desempenho do tráfego veicular em tempo real. Esta prática envolve a instalação de dispositivos como sensores que coletam informações sobre velocidade, localização, direção, tempo de operação, uso do combustível, consumo de energia, entre outras métricas relevantes

[38]. A monitorização surge precisamente na perspetiva de envolver a coleta, análise e processamento desses dados desde várias fontes, como veículos, infraestruturas, sistemas de controlo de tráfego e outros ambientes rodoviários [37], [39]. Conforme referido anteriormente, os dados coletados representam localização, velocidade, aceleração e direção do veículo, bem como fluxo de tráfego, condições da estrada e situações climáticas [39],[38]. Nesta secção faz-se um estudo minucioso sobre monitorização de tráfego face aos enormes fluxos de tráfego das redes veiculares e faz-se também aplicação de técnicas e estratégias contextuais para otimizar os referido tráfego e recurso de forma eficiente e com a finalidade de melhorar a mobilidade rodoviária em trânsito urbano [37].

Sabendo que mobilidade urbana apresenta vários desafios conforme abordado Capítulo 2, reportar tais situações ou fenómenos que ocorrem frequentemente no trânsito ou nas vias públicas é o principal objetivo da monitorização veicular. A Figura 9, ilustra como ocorre o processo da monitorização veicular em trânsito urbano, observam-se como os condutores, recebem notificações sobre o estado da via, situações como congestionamento, acidentes e obstruções na via. Em função desta informação o condutor toma decisões como optar por uma rota menos congestionada, sem obstrução ou acidente na via. Vários recursos são instalados nos carros e ao lado da estrada para permitir essa sincronização e garantir uma condução mais segura [37], [39].

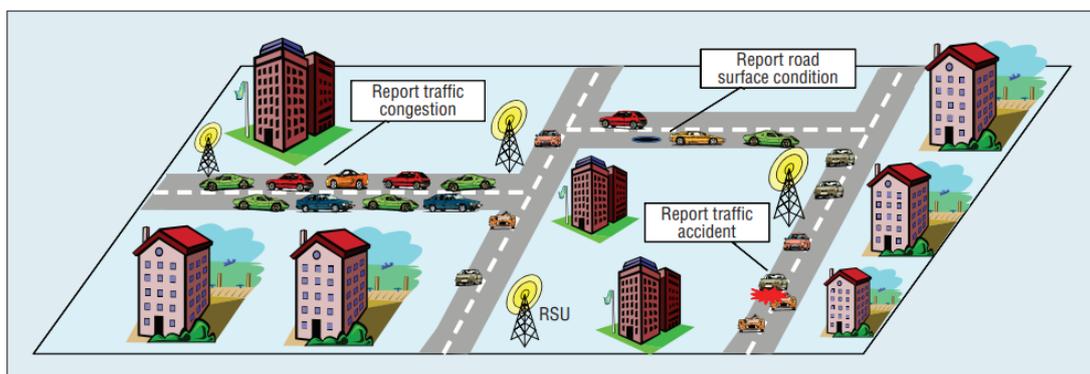


Figura 9: Monitorização de veículos e do tráfego rodoviário [8]

Em geral, os parâmetros a serem monitorados são descritos na Tabela 4 [8]:

Métricas	Descrição
<i>Carga</i>	Quantidade de tráfego que passa numa determinada seção da estrada num período de tempo.
<i>Velocidade</i>	Velocidade média dos veículos que passam pela área monitorada.
<i>Densidade</i>	Número de veículos presentes em uma seção específica.
<i>Congestionamento</i>	Nível de congestionamento na estrada, geralmente medido em termos de atraso experimentado pelos motoristas.
<i>Classificação</i>	Diferentes tipos de veículos presentes na via, como carros, caminhões, motocicletas, etc.
<i>Atraso</i>	A quantidade de tempo que os veículos atrasam enquanto transitam por uma determinada seção da estrada.

Tabela 4: Principais parâmetros para monitorar VANETs

Estes parâmetros são capturados por meio de sensores e utilizados para análise do comportamento veicular e fornecer informações sobre os fluxos dos veículos em secções rodoviárias específicas. Apresenta-se abaixo uma breve descrição dos parâmetros descrito na Tabela [37]:

- a carga permite medir a quantidade tráfego veicular que passam por uma secção específica da estrada em um determinado período. Ajudar a planejar o número de faixas necessárias, melhorar a segurança do tráfego e garantir que a infraestrutura viária seja adequada para a demanda;
- a velocidade permite calcular a intensidade média dos veículos que passam pela área monitorada permite medir o desempenho da rede de transporte. Ajuda a identificar locais com congestionamento, pontos de estrangulamento, áreas onde o limite de velocidade não é cumprido, entre outras informações úteis;
- a densidade permite determinar a capacidade das infraestrutura rodoviária, em zonas;

- o congestionamento, mede a eficiência da rede de transportes e ajuda a identificar as zonas com problemas de congestionamento;
- a classificação permite rotular diferentes tipos de veículos na estrada e compreender as características dos mesmos;
- o atraso permite estimar a quantidade de veículos que demoram atingir seu destino devido a congestionamentos ou atrasos nas estradas.

Para capturar essas métricas é necessária a implementação de técnicas e metodologias veiculares que se adequam, ao contexto proposto conforme descrito na secção 3.3.1

3.3.1 Técnicas de Monitoramento, Análise e Captura de Tráfego em Redes Veiculares

Dentre as diversas técnicas utilizadas para estimar e monitorar tráfego veicular nesta secção, destaca-se as seguintes:

- *On-Board Diagnostics (OBD)*;
- *MOBYWIT*;
- *Vehicle Tracking for Roundabout Analysis (VeTRA)*;
- *Real-time video surveillance*.

On-Board Diagnostics

On-Board Diagnostics é um sistema de diagnóstico incorporado em veículos que permite monitorar de forma contínua o desempenho do motor e de outras partes do sistema veicular, para detetar e relatar problemas de desempenho e emissões [40]. O OBD visa garantir que os veículos estejam a funcionar corretamente a fim de reduzir as emissões sobre tais fenómenos [41].

Os parâmetros a monitorar pelo sistema *OBD* classificam-se da seguinte forma [40]:

- pressão do ar no coletor de admissão;
- velocidade do veículo;
- temperatura do líquido de arrefecimento do motor;

- posição do acelerador;
- pressão do combustível;
- nível de oxigênio no escapamento.

O *OBD* monitora estes parâmetros por meio de sensores instalados no veículo, que captam informações e as enviam para a unidade de controlo do motor (ECU). A ECU é responsável por processar esses dados e se for detetado um problema, emite um código de diagnóstico de problema (DTC), sendo registado para poder ser lido por um *scanner* OBD [41].

Num contexto histórico, *OBD* é um sistema informático de diagnóstico veicular, desenvolvido na década de 1980, para monitorar os parâmetros acima mencionados. O *OBD* usa protocolos OBD-I e OBD-II. Inicialmente a versão OBD-I tinha como finalidade monitorar e permitir medir o desempenho da rede conhecendo com exatidão a localização da falha em tempo real num fluxo de tráfego rodoviário [40]. Em 1988, o OBD-I foi usado pela organização *Air Resources Board* para controlar ou reduzir a poluição atmosférica causada pelo tráfego rodoviário. O OBD-I evoluiu posteriormente para o OBD-II. Esta nova versão foi padronizada pela *SAE (Society of Automotive Engineers)* e é amplamente utilizada em veículos fabricados a partir de 1996 [40]. O *OBD-II* usa um conector de diagnóstico de 16 pinos que pode ser encontrado em baixo do painel do veículo, próximo ao volante. Este permite que os técnicos acessem a informações de diagnóstico do veículo, tais como códigos de falha, dados do sensor e parâmetros de desempenho. O protocolo *OBD-II* também permite que os proprietários de veículos acessem a essas informações usando um dispositivo de leitura *OBD-II* conectado ao conector de diagnóstico. Devido ao avanço emergente das TICs, é uma versão melhorada que permite capturar mais dados dentre outros aspetos preeminentes e permite aos utilizadores compreender a localização real de ocorrência anómalas ou descobrir falhas reais nos subsistemas e tráfego veiculares [41].

Para avaliar o desempenho da rede, o *OBD-II* primeiramente conecta-se aos sensores instalados nos veículos onde informações como temperatura, velocidade do motor e níveis de combustível e outros parâmetros são capturadas. Após serem capturadas são processadas com base no diagnóstico ou avaliação dessa informação, o sistema pode emitir alertas ou notificar condutores em caso de possíveis congestionamentos ou acidentes rodoviários. O diagnóstico de ocorrência de falhas ou avarias analisa-se com base num código de diagnóstico gerado por vários padrões de diagnósticos de falhas, como *DTC*. O *DTC* é caracterizado por uma sequência de caracteres alfanuméricos e permite monitorar e/ou identificar subsistemas defeituosos de veículos. Quando o pedido de diagnóstico é enviado a uma unidade controlo de tráfego, esta verifica o estado do veículo e reporta a sua localização na forma de uma *DTC*.

MOBYWIT

É um sistema de monitorização e rastreamento veicular sem fio que usa tecnologia de GPS para fornecer informações em tempo real sobre a localização e estado dos veículos. O propósito desse sistema é rastrear frotas e atividades dos veículos, como rotas percorridas, velocidade, quilometragem percorrida, consumo de combustível, entre outras informações relevantes [41]. O dispositivo é equipado com um recetor GPS que recebe sinais de satélites para determinar a localização exata do veículo [9]. Além disso, o dispositivo também possui um módulo de comunicação celular que permite a transmissão das informações para o servidor central em tempo real. O servidor central em nuvem processa essas informações e apresenta num mapa interativo, permitindo que os utilizadores monitorem as localizações dos seus veículos em tempo real, bem como obtenham relatórios detalhados sobre o histórico de viagens, tempos de parada, velocidades médias e outras métricas de desempenho [41]. O *MOBYWIT* permite coletar informações baseadas nos seguintes parâmetros [9];

- Localização do veículo: o *MOBYWIT* permite monitorar a localização do veículo em tempo real e exibir no mapa interativo. Isso ajuda a garantir que os veículos estejam nos locais certos no momento certo, evitando atrasos e desvios desnecessários [9].
- Velocidade do veículo: o sistema permite monitorar a velocidade do veículo em tempo real e receber alertas quando a velocidade excede um limite definido. Isso ajuda a garantir a segurança dos motoristas e passageiros e a evitar multas de trânsito [9].
- Tempo de paragem: o sistema permite monitorar o tempo de paragem do veículo num local específico e receber alertas quando o tempo de paragem excede um limite definido. Isso ajuda a garantir que os motoristas não percam tempo desnecessário em paragens, permitindo maximizar a eficiência da frota.
- Distância percorrida: o sistema permite monitorar a distância percorrida pelo veículo em cada viagem num período específico. Isso ajuda a avaliar o desempenho da frota e a identificar oportunidades para economizar combustível e reduzir custos [9].

As métricas são monitoradas em tempo real pelo *MOBYWIT* e os utilizadores podem acedê-las através de um painel de controlo remoto. Além disso, o sistema envia alertas automaticamente quando ocorrem eventos importantes, como excesso de velocidade e desvios de rota. Com base nos dados coletados pelo *MOBYWIT*, é possível realizar uma análise do tráfego veicular e identificar padrões de comportamento dos motoristas, fluxos de tráfego e problemas de congestionamento [9]. Além disso, o *MOBYWIT* também

pode ser utilizado para melhorar a segurança no trânsito, ao fornecer informações em tempo real sobre condições perigosas na estrada, como acidentes, obras, ou problemas de tráfego. A análise dos dados coletados pelo *MOBYWIT* pode ser usada para otimizar a gestão do tráfego urbano, ajudando a identificar problemas de congestionamento e sugerir rotas alternativas para os motoristas. Além disso, pode ser utilizado para planejar e implementar políticas de trânsito mais eficientes, como a criação de faixas exclusivas para transportes públicos e bicicletas, ou a restrição de veículos em determinadas áreas da cidade em horas de ponta [9].

Vehicle Tracking for Roundabout Analysis

O VeTRA é uma ferramenta de análise e medição de tráfego veicular usada em tráfego rotatório como rotundas e cruzamentos, permitindo a análise de dados coletados e processados como imagens de fluxo veicular capturados por câmaras de vídeo. O VeTRA é usado para processamento dessas imagens e permite também efetuar demonstrações de resultados operacionais baseados nos parâmetros coletados e analisados [9].

Os parâmetros de medição para análise de tráfego em rotundas classificam-se da seguinte forma [9]:

- Fluxo de tráfego: quantidade de veículos que passam pela rotunda num determinado período.
- Capacidade da rotunda: quantidade máxima de veículos que podem passar pela rotunda num determinado período sem que ocorra atrasos ou congestionamentos.
- Velocidade média: velocidade média dos veículos que passam pela rotunda.
- Taxa de acidentes: quantidade de acidentes que ocorrem na rotunda num determinado período.
- Classificação de veículo: permite analisar a demanda de tipos de veículos específicos na rotunda, como autocarros ou camiões.
- Perfis de velocidade: permite avaliar a velocidade dos veículos em diferentes partes da rotunda.
- Trajetórias do veículo: permite identificar padrões de comportamento dos motoristas e possíveis áreas de conflito ou pontos de congestionamento.

Para monitorar estes parâmetros, o *Vetra* utiliza sensores e câmaras de vigilância. Além disso, os dispositivos como *GPS* podem ser usados para rastrear a velocidade e o movimento dos veículos na rotunda. Os sensores são instalados em pontos estratégicos ao redor da rotunda para detetar a presença de veículos e capturar informações como velocidade, direção e tempo de permanência. As câmaras de vigilância são

usadas para fornecer uma visão geral da rotunda e para fornecer imagens detalhadas dos veículos em movimento. Os dados coletados pelo *VeTRA* são processados e analisados para fornecer informações valiosas sobre o fluxo de tráfego em rotundas, incluindo estatísticas de tráfego, tempos de espera de congestionamento. Estas informações podem ser usadas para otimizar o trânsito das rotundas e melhorar a segurança do tráfego. Após a detecção inicial, os veículos são seguidos ao longo do tempo utilizando algoritmos de correspondência de objetos. Estes algoritmos seguem o movimento de cada veículo ao longo do tempo, combinando a detecção de veículos em fotogramas consecutivos. Uma consideração importante é a modelação do fundo da cena que deve ser robusta a alterações na iluminação e no movimento da câmara. O *VeTRA* utiliza um mecanismo adaptativo que atualiza constantemente cada *pixel* no modelo de fundo utilizando pares convexos de valores de pixels atuais e imagens observadas. Isto garante que o modelo está sempre atualizado e se adapta às alterações na cena [9]. Para obter uma região de imagem que represente o automóvel em primeiro plano são removidas as sombras e o ruído. As sombras são processadas de forma a afetarem a intensidade do *pixel*, mas não os componentes da matriz em saturação. Isto permite distinguir o veículo e a sua sombra [9]. À medida que novas informações ficam disponíveis, a pista do veículo seguido é atualizada para refletir a posição mais recente. A máscara binária resultante da detecção do veículo é processada morfologicamente para melhorar a sua qualidade, por exemplo, preenchendo as lacunas deixadas pela remoção do ruído e das sombras. O processamento das imagens capturadas pelo sistema *VeTRA* envolve várias etapas, todas elas dependendo de um modelo adaptável de fundo para lidar com as mudanças nas condições de luz e movimento da câmara. Segue-se uma explicação mais detalhada das etapas e conceitos mencionados [9]:

- modelagem de fundo adaptável e subtração para detetar objetos em movimento na cena;
- identificação em primeiro plano através da remoção de sombra e ruído para fornecer áreas de imagem que representam veículos;
- atualização de trajetória para os veículos rastreados de acordo com novas informações.

Após o rastreamento os dados capturados fornecem as seguintes informações:

- matriz de entrada/saída;
- trajetórias do veículo;
- perfis de velocidade;
- classificação do veículo [9].

A matriz de entrada e saída é a matriz que contém todos os movimentos circulares e uma vez que as inversões não são possíveis, observam-se frequentemente algumas diferenças em relação às matrizes correspondentes de outros movimentos circulares. Foi desenvolvido um algoritmo especial para calcular os dados da matriz e/s. O sistema de rastreio não podia garantir que todas as trajetórias dadas estivessem completas desde a entrada até à saída, devido a qualquer dos fatores acima referidos, como o ruído, o vento, as sombras e as nuvens. Se a homografia entre os dois planos for conhecida, a trajetória no plano do pavimento pode ser facilmente calculada com base na trajetória no plano da imagem [9]. O perfil de velocidade e de curvatura são obtidos calculando-os com base na posição e no tempo do veículo. A velocidade pode ser facilmente calculada dividindo a distância entre dois pontos consecutivos pelo tempo decorrido, que é aproximadamente igual à taxa de fotogramas da câmara. A classificação dos fluxos é necessária para melhorar a eficácia global da contagem dos fluxos das velocidades e das trajetórias. A classificação é efetuada em função do perfil de velocidade, podendo ser classificadas de três formas [9]:

- Bicicletas e motociclos;
- Automóveis, carrinhas e reboques;
- Veículos pesados.

Estes parâmetros são compostos por um classificador local e um sistema de votação. O classificador local determina a classe do veículo para cada fotograma da trajetória com base na sua posição na imagem e na região selecionada. A posição é necessária porque o mesmo veículo tem regiões diferentes em pontos diferentes da imagem. O sistema de votação agrega os resultados do classificador local para todos os pontos da trajetória e seleciona a mais frequente das três classes de veículos.

A Figura 10 ilustra o resultado de estudo feito numa rotunda aplicada no contexto de um ambiente urbano europeu. Onde o diâmetro exterior da rotunda é de 50 m, a largura da via de circulação é de 13 m e a placa de estacionamento é de 1,5 m. As faixas de rodagem totalizam 8 m e as faixas de saída 6 m. com câmaras instaladas no centro da rotunda, sendo que a via de circulação entre os troços principais apresentam maior efeito de fecho em relação a outras vias [9].

O objetivo é mostrar o número de caminhos diferenciados com base no número de cruzamentos com portais de entrada ou saída obtidos diretamente da análise das imagens [9]. O número de caminhos com duas ou menos interseções normalmente é diferente de zero. As trajetórias com uma interseção são estendidas de forma linear de uma extremidade até que a interseção seja alcançada. Por fim, a mesma operação é aplicada às trajetórias sem interseções. O resultado é um novo conjunto de dados contendo 2.092 trajetórias, 17% a mais que o primeiro número. Aproximadamente 70% das trajetórias registadas

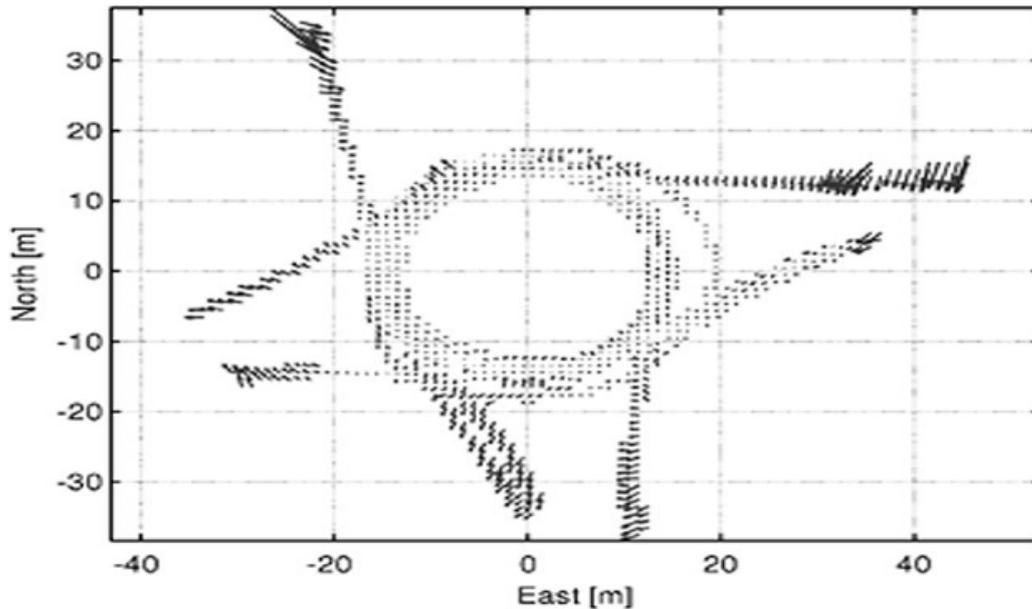


Figura 10: Rastreo de veículos para análise de rotundas [9]

não descartadas no pós-processamento foram classificadas corretamente. As 823 trajetórias restantes são reanalisadas em outro processo de duas etapas para obter a matriz final [9].

Real-time video surveillance

Essa estratégia é aplicada num contexto em que se utiliza câmaras de vídeos sincronizados com *software* específico, para monitorizar tráfego em tempo real. O sistema analisa a alimentação de vídeo para detetar veículos que passam sobre linhas virtuais que foram colocados na estrada. Esta informação pode ser utilizada para monitorar fluxo de tráfego, detetar congestionamentos, e melhorar a segurança. A linha virtual é uma ferramenta utilizada para monitorar tráfego de veículos em tempo real [10]. Consiste numa linha imaginária definida pelo utilizador na imagem capturada pela câmara de vigilância. Esta linha é configurada com base na localização da câmara e nas necessidades do sistema de vigilância, podendo ser reta, curva ou ondulada, e pode ser configurada em diferentes áreas da estrada, tais como faixas de trânsito, cruzamentos ou entradas e saídas de veículos. Quando um veículo cruza a linha virtual, o sistema de vídeo vigilância é capaz de detetar o movimento e iniciar uma ação como, por exemplo, enviar um alerta para um operador ou acionar uma sirene. As principais métricas a monitorar neste contexto são [10]:

- Velocidade: são criadas linhas virtuais em vários pontos da estrada e a velocidade dos veículos que circulam entre elas é medida. O tempo que um veículo demora a percorrer a distância entre as

linhas virtuais é utilizado para calcular a velocidade .

- Contagem de veículos: as linhas virtuais também podem ser utilizadas para contar o número de veículos que circulam ao longo delas. Um algoritmo de análise de imagem identifica cada veículo que atravessa a linha virtual e efetua uma contagem.
- Fluxo de tráfego: o fluxo de tráfego pode ser medido através da combinação de dados de velocidade e de contagem de veículos. Esta informação pode ser utilizada para determinar o congestionamento do tráfego, atrasos e padrões de tráfego ao longo do dia.

São utilizados algoritmos para determinar os parâmetros acima referidos. Estes algoritmos estão programados para detetar linhas virtuais e reconhecer padrões de tráfego que indiquem que um veículo atravessou a linha. Quando um veículo atravessa uma linha virtual, o algoritmo extrai informações relevantes, como o tempo e a velocidade, e adiciona-as à métrica correspondente. A informação recolhida é processada e armazenada no sistema de gestão de tráfego para análise posterior. Normalmente, na monitorização do tráfego, as câmaras são primeiro instaladas e posteriormente o software é configurado. Quando um veículo atravessa uma linha virtual, o sistema deteta-o e regista os dados. Estes dados podem ser utilizados para monitorar o fluxo de tráfego e identificar problemas como congestionamentos ou acidentes [31]. Podem ser gerados relatórios a partir destes dados para mostrar padrões de tráfego, velocidades médias e outras métricas. Esta informação pode ser utilizada para identificar os locais onde o fluxo de tráfego pode ser melhorado ou para alterar o traçado da estrada de modo a aumentar a segurança. Os sistemas de monitorização de tráfego podem colocar um determinado número de veículos em cada secção da estrada e utilizar câmaras para captar, detetar, classificar e monitorar o movimento dos veículos ao longo de um percurso. O sistema baseia-se num analisador visual constituído por detetores e saídas para uma interface gráfica. A figura 11 ilustra um diagrama de blocos do sistema de analisador visual composto por sete níveis de detetores e três saídas de visualização adicionais [10].

A deteção, classificação e rastreamento de veículos numa sequência de vídeo é feita em sete fases, como mostra o diagrama de blocos do sistema. A primeira fase é a deteção da trajetória do veículo, em que são definidas regiões de limite válidas para análise visual [10]. A segunda fase é a seleção da linha virtual, que encontra a melhor linha virtual na região da estrada atual. Na terceira fase, são determinados o número de faixas de rodagem, localização das faixas e os vetores de tráfego [31]. Na Fase 4 são construídas fatias de linhas virtuais ao longo do tempo para detetar e remover o fundo estático. Na Fase 5 começa a deteção de veículos, sendo identificados os veículos que podem atravessar a linha virtual. Na fase 6 é feita a classificação de veículos que consiste na determinação dos atributos do veículo, como o

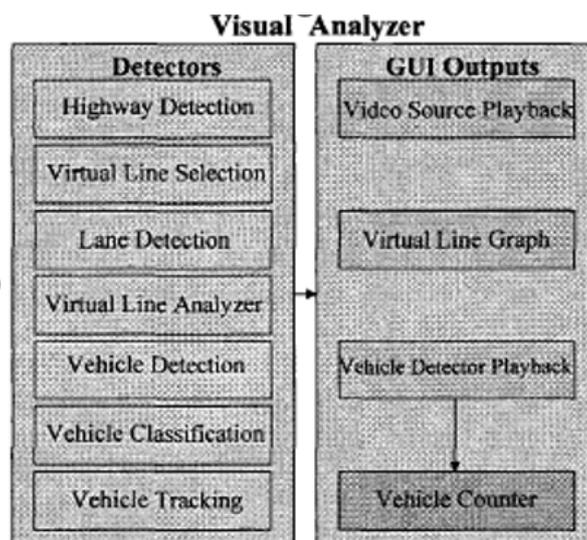


Figura 11: Diagrama de blocos do sistema do contador de veículos composto por detectores visuais e saídas. [10]

tamanho e cor [31]. E na última Fase, cria-se um seguimento de veículos individuais à medida que se deslocam na imagem do vídeo. As duas últimas fases são utilizadas para melhorar a precisão do detetor de veículos [10]. Por outro lado, a monitorização do tráfego é frequentemente efetuada através de câmaras fixas localizadas ao longo das principais autoestradas e cobrindo várias estradas. Isto requer a utilização de analisadores visuais para identificar secções de estrada onde os veículos podem ser detetados [31]. Para fontes de vídeo fixas em que o tráfego de veículos é o principal foco, aplica-se a diferença imagem a imagem para determinar a posição dos veículos em movimento na estrada [31]. É aplicada uma filtragem de limiar para remover fundo quase estacionário. Finalmente, a região da estrada desejada é gerada pela acumulação de diferentes valores de limiar entre imagens de curta duração [31]. Tal como acontece com os sensores de linhas incorporados, as linhas virtuais devem ser idealmente traçadas perpendicularmente à faixa de rodagem da autoestrada. No entanto, as linhas virtuais perpendiculares à faixa de rodagem nem sempre permitem obter a resolução máxima de pixels do veículo. Por conseguinte, a escolha da linha virtual ideal na faixa de rodagem depende da posição e da curvatura da faixa de rodagem em relação ao ponto de vista da câmara. Nos sistemas de monitorização do tráfego, as linhas virtuais podem ser seleccionadas de forma automática ou manualmente. A localização das linhas virtuais pode ser seleccionada automaticamente com base no histograma dos vetores de direcção de deslocamento obtidos nas etapas anteriores [31]. Uma linha virtual para cada direcção de tráfego é seleccionada com base na soma do valor máximo da largura da estrada e da densidade do histograma das direcções de tráfego nessa linha [10]. Isto é feito observando o gráfico durante algum tempo e identificando a distribuição das cores de fundo ao longo das linhas virtuais [31]. No passo seguinte, apenas o fundo é subtraído do gráfico

para preservar os valores de pixels dos carros. Após subtrair os valores do gráfico da cor de fundo, é efetuado um alinhamento de limiares e é criada uma máscara. Após remover o fundo utilizando esta máscara, o gráfico da linha virtual é utilizado para detetar os automóveis que atravessam a linha virtual [31]. Utilizando limites de traço pré-calculados, os veículos são identificados como objetos dominantes que não têm fundo visível no traço projetado do gráfico. Um veículo potencial é detetado quando um objeto fora do fundo atravessa a linha virtual e ocupa mais do que uma percentagem limite da largura da faixa de rodagem [31]. A deteção de um veículo é confirmada se as suas dimensões corresponderem às dimensões do objeto na etapa de classificação. O detetor de linha virtual deteta os veículos utilizando apenas as alterações temporais da informação visual contida na linha virtual. Este detetor, que inclui um classificador de veículos, permite uma contagem exata de veículos com uma precisão superior a 95%. Infelizmente, o contador pode não contar os veículos se estes estiverem demasiado perto ou demasiado longe na linha virtual antes de entrarem no detetor. Para melhorar a precisão da deteção de veículos, foram desenvolvidos componentes de segmentação e seguimento que criam caixas delimitadoras para veículos individuais. Por fim, foram utilizadas técnicas de filtragem de *Kalman* para garantir a fiabilidade do seguimento dos veículos. Desta forma, o sistema de monitorização do tráfego fornece um número de veículos para avaliação do desempenho. Nesta experiência, foram utilizadas *webcams* fixas para obter uma sequência de vídeo que capta o tráfego de entrada e de saída em tempo real. A exatidão da contagem de veículos para cada sequência de vídeo foi avaliada comparando-a com os valores reais obtidos por contagem manual de veículos [10].

A Tabela 5 ilustra o desempenho da contagem de veículos usando o analisador visual automático e a verificação manual do solo para três cenários de vídeo (1) entrada e saída de tráfego intenso, (2) tráfego leve e (3) tráfego misto. O primeiro vídeo foi feito à noite, quando os carros acendem os faróis, resultando numa baixa precisão de 91,3%; o segundo e terceiro foram obtidos durante as horas de luz do dia, produzindo uma alta precisão de cerca de 98%.

Cenário de Tráfego	Total <i>Imagens</i>	<i>Inbound</i> (A/M)	<i>Outbound</i> (A/M)	<i>Precision</i>
<i>High Vol</i>	2417	106/95	106/100	91.3%
Low Vol	3856	33/32	45/44	97.4%
<i>Mix Vol</i>	5460	143/143	62/65	98.6%
<i>Total</i>	11733	282/270	213/209	96.7%

Tabela 5: Precisão de contagem de veículos do tráfego de entrada e saída [10]

O sistema de monitoramento de vigilância por vídeo fornece um contador de veículos preciso e em tempo real para as principais rodovias através do uso de câmaras web estacionárias amplamente disponíveis. Os vídeos de tráfego são processados no analisador visual para detecção e análise. A divisão em sete componentes ajuda na detecção de rodovias, seleção de linhas virtuais, detecção de faixas, análise de linhas virtuais, detecção de veículos e classificação de veículos. O elemento chave é o uso de gráfico de linhas virtuais espaço-temporais para detetar veículos em movimento, classificar os seus tipos e rastrear os seus caminhos [10].

Análise Comparativa das Ferramentas Descritas Acima

Nesta secção pretende-se efetuar um resumo e uma reflexão de forma breve dos pontos-chave das estratégias mencionadas até ao momento, no que toca as vantagens que cada estratégia apresenta no contexto da monitorização veicular. O sistema On-Board Diagnostics é utilizado para monitorar o desempenho dos veículos e diagnosticar problemas internos. O MOBYWIT e o VeTRA são utilizados para monitorar tráfego livre, congestionado e periódico em tempo real, com a finalidade de fornecer informações para otimizar rotas e reduzir congestionamentos, e analisar a eficiência do fluxo de tráfego. O VeTRA é usado em rotundas e o MOBYWIT em gestão de tráfego e navegação. Por outro lado, o sistema de monitoramento de tráfego baseado em vídeo é usado para detetar anomalias e congestionamentos em tempo real, para tal efeito utiliza linhas virtuais ou imaginárias para detetar eventos. Em termos de recursos e implementação, o OBD foi atualizado na atualidade, é mais acessível aos veículos modernos, o que constitui desvantagem no contexto de veículos mais antigos, enquanto o MOBYWIT e o VeTRA exigem a instalação de sensores de bordo ou câmaras e radares em locais específicos. O sistema de monitoramento de tráfego baseado em vídeo requer a instalação de câmaras e software de análise de vídeo.

Em relação à tecnologia utilizada, o OBD utiliza protocolos de comunicação padrão, como OBD-II e CAN, enquanto o MOBYWIT usa tecnologia de comunicação sem fios, como *Wi-Fi* e *Bluetooth*. O VeTRA utiliza câmaras e radares para coletar informações sobre o tráfego em rotundas, enquanto o sistema de monitoramento de tráfego baseado em vídeo usa análise de linha virtual para detetar situações e anomalias. Contudo, estas ferramentas podem estar sincronizadas para alcançar um único objetivo que é garantir eficiência e segurança no tráfego veicular tal como ilustra a Tabela 6.

Parâmetros	OBD	MOBYWIT	VeTRA	Real-time video surveillance
Funções	Diagnóstico e monitoramento do veículo.	Gestão de tráfego, estacionamento inteligente, navegação.	Monitoramento e análise de fluxo em rotundas.	Monitoramento de tráfego em tempo real, detecção de anomalias.
Aplicação	Manutenção de veículos, diagnóstico, emissões.	Gestão de tráfego urbano, estacionamento inteligente, navegação.	Planeamento e otimização de rotundas.	Monitoramento de tráfego em tempo real, segurança rodoviária.
Tipo de dados coletados	Dados do motor, emissões, sistemas eletrônicos.	Dados de tráfego, localização, ocupação de estacionamento.	Dados de tráfego em rotundas, velocidade, fluxo, ocupação.	Vídeo, contagem de veículos, velocidade, anomalias.
Objetivo principal	Monitoramento da saúde do veículo.	Gestão e otimização do tráfego urbano.	Análise de tráfego em rotundas.	Monitoramento de tráfego e segurança rodoviária.
Métodos de comunicação	Conexão física ao veículo (OBD-II) ou sem fios (<i>Bluetooth, WiFi e outros</i>).	Conexão sem fios (<i>WiFi</i>).	Conexão sem fios (<i>WiFi</i>).	Conexão sem fios (<i>WiFi, 4G/5G</i>).

Tabela 6: Análise das Ferramentas em Estudo

3.4 Técnicas de Localização para Rastreamento de Tráfego

A técnica de localização é uma abordagem específica usada para determinar a posição ou localização de um objeto, pessoa ou veículo em relação a um sistema de coordenadas conhecidas. Permite determinar a posição de um veículo autónomo num sistema de coordenadas globais. Estas técnicas são baseadas em rastreamento de tráfego, sendo este processo uma solução valiosa para monitorização e localização de objetos fixos ou dinâmicos desde qualquer momento e em qualquer localização de tráfego [26]. Estas técnicas utilizam tecnologias avançadas como sensores, dados de GPS, mapas prévios e algoritmos para calcular a localização precisa de objetos em tempo real. Nesta secção será feita uma abordagem sobre técnicas de rastreamento em ambiente dinâmico. Podem ser descritas da seguinte forma [26]:

- GPS (*Global Positioning System*);
- GSM (*Global Mobile Communication System*);
- RFID (*Radio Frequency Identification*).
- YOLO (*You Only Look Once*);

Estas tecnologias são amplamente utilizadas para a localização de objetos dinâmicos que se movem num ambiente espaço/tempo [26]. São utilizadas em vários contextos inclusive no contexto veicular, no que toca ao rastreamento de parametros e infraestruturas de redes veiculares. O principal objetivo é rastrear a posição e a velocidade com que os objetos se movem nas vias públicas num espaço intemporal [27].

GPS é um sistema que envolve a instalação de dispositivo de transmissão de dados em tempo real para um servidor central que pode monitorar a localização dos objetos em tempo real. Este Sistema de Posicionamento Global, composto por longitude e latitude usa comunicação por satélites para obter as coordenadas dos objetos e outras informações vitais.

GSM é um sistema que envolve o uso de sinais de celular para determinar a localização de objetos ou dispositivos em tempo real. Existem duas técnicas de localização GSM, triangulação de antena e GPS assistido por comunicação celular (A-GPS) [27], [26].

- Triangulação de antena: essa técnica permite receber o sinal do objeto em movimento e calcular a localização. Esta localização é estimada em função da diferença de tempo em que o sinal leva para chegar proveniente de três ou mais torres de celulares próximas, como resultado apresentando a área de localização do objeto filtrado.

- GPS assistido por comunicação celular (A-GPS): esta técnica combina as informações de GPS com a rede celular para aumentar a precisão da localização dos objetos. A-GPS utiliza a rede celular para obter informações adicionais de GPS, como dados de satélite e correções de erros, para melhorar a precisão do GPS. Como resultado, A-GPS é capaz de fornecer a localização do objeto com mais precisão.

O RFID (*Radio Frequency Identification*) é uma tecnologia usada para identificar e localizar objetos por meio de ondas de rádio. Quando um objeto é equipado com uma etiqueta RFID, pode facilmente ser localizado por meio de um leitor RFID que emite sinais de rádio para detectar objetos em movimento.

Joseph Redmon e Ali Farhadi, desenvolveram uma tecnologia de índole geral baseada em visão computacional, usada para detectar e reconhecer objetos em tempo real. Esta tecnologia implementa, algoritmo de inteligência artificial chamado YOLO [26]. A principal característica do YOLO é a capacidade de realizar a detecção de múltiplos objetos de forma sequencial através de uma rede neuronal, sendo rápida e eficiente em termos de recursos computacionais. Assim, torna-se especialmente adequado para aplicações que requerem detecção em tempo real, como sistemas de vigilância, veículos autônomos e *drones* em cenários onde se requer maior nível de precisão [26].

3.5 Plataformas de monitorização Open Source para análise e simulação de tráfego veicular

Existem diversas ferramentas de software livre projetadas para coletar, processar e analisar dados de tráfego em tempo real [6]. Estes sistemas são utilizados para simular o desempenho do tráfego em rodovias, ruas e estradas, permitindo aos utilizadores tomar decisões mais informadas sobre planeamento urbano, gestão de tráfego e planeamento de transporte [6]. Estas ferramentas são caracterizadas por serem software livre, o que significa que podem ser usadas gratuitamente e modificadas por desenvolvedores [6]. Estes sistemas são altamente personalizáveis e escaláveis, permitem que os utilizadores adaptem as soluções às suas necessidades específicas. Além disso, podem ser usados numa variedade de ambientes, desde cidades pequenas até grandes áreas metropolitanas. Usam como coletores de dados de várias fontes, tais como sensores, câmaras de trânsito e outros dispositivos conectados à Internet. De forma geral, avaliam métricas como [6]:

- fluxo de veículos; (veículos/hora);
- densidade de tráfego (veículos/km);

- velocidade média (km/h);
- atraso médio (segundos);
- número de colisões;
- consumo de energia;
- emissões de CO₂.

Os dados obtidos são processados e analisados em tempo real, o que permite que os utilizadores monitorem o tráfego, identifiquem problemas e tomem medidas para melhorar a eficiência do tráfego e a segurança nas estradas. Podem ser classificados de várias maneiras, dependendo dos recursos que oferecem e dos problemas que resolvem. Algumas plataformas centram-se na análise de dados históricos, enquanto outras são projetadas para coletar e analisar dados em tempo real [6]. Algumas plataformas são mais adequadas para áreas urbanas, enquanto outras são projetadas para ambientes rurais ou de rodovias. Destacam-se os seguintes [6]:

- Sumo;
- Trans;
- Flow;
- Veins;
- OpenTrafficSim;
- VanetMobiSim.

Sumo

É uma plataforma de simulação de tráfego de código aberto que permite simular tráfego urbano e rural, com base em modelos matemáticos e algoritmos que simulam o movimento de veículos individuais. Tendo em conta aspetos como velocidade, aceleração, distância de travagem e manobrabilidade, permite criar modelos do ambiente urbano a simular, que inclui estradas, intersecções, áreas de estacionamento e outras infraestruturas relacionadas. Estes modelos podem ser criados a partir de dados geográficos, tais como mapas, imagens de satélite e dados de sistemas de informação geográfica. A descrição minuciosa do comportamento dos veículos que circulam nas áreas urbanas é fundamental. Isso abrange uma variedade

de informações, como características físicas dos veículos, padrões de velocidade, rotas preferenciais e horários de circulação. Toda essa informação é registada num arquivo de dados que é posteriormente interpretado pelo *Simulation of Urban Mobility* durante o processo de simulação [6]. As características principais do SUMO são [6]:

- capacidade de simular grandes áreas urbanas;
- suporte para múltiplos modos de transporte, incluindo carros, bicicletas e pedestres;
- múltiplos algoritmos de encaminhamento e controle de tráfego disponíveis;
- interface gráfica do utilizador fácil de usar;
- alta curva de aprendizagem para utilizadores iniciantes;
- dificuldade em configurar e ajustar parâmetros;
- requer conhecimento em programação para criar cenários mais complexos.

Durante a simulação, o SUMO executa modelos matemáticos e algoritmos que determinam o movimento de veículos individuais na rede rodoviária, tendo em conta os regulamentos e regras de trânsito. Também integra outras ferramentas para avaliar o impacto ambiental das operações dos veículos, tais como modelos de emissão de poluentes e modelos de consumo de combustível. Uma vez concluída a simulação, produz um conjunto de estatísticas e visualizações que permitem analisar o desempenho da rede rodoviária, identificar estrangulamentos e pontos críticos, avaliar a eficácia das estratégias de gestão do tráfego e recomendar melhorias nas infraestruturas rodoviárias e nos sistemas de transportes urbanos.

TraNS

Funciona com base num modelo de rede e de mobilidade de veículos. Simula as comunicações entre veículos e estações base e avalia o desempenho de diferentes algoritmos de comunicação e aplicações de segurança, controlo de sinais e gestão do tráfego. O objetivo do TraNS é simular o comportamento do tráfego em VANET, permitir analisar tráfego em autoestradas, estradas abertas e estradas secundárias. O TraNS é uma ferramenta essencial para a investigação sobre sistemas de transporte inteligentes e comunicações entre veículos. Os utilizadores podem desenvolver e testar novas soluções num ambiente seguro e controlado. O TraNS também pode ser utilizado por programadores e engenheiros de transportes para avaliar o desempenho de diferentes tecnologias e estratégias num ambiente simulado antes de as implementar num ambiente real [6].

Flow

É uma plataforma de simulação de tráfego de código aberto que permite aos utilizadores simular o comportamento do tráfego em estradas e vias urbanas usando modelos de fluxo de tráfego de microsimulação. A plataforma inclui recursos para modelar diferentes tipos de veículos, comportamento dos motoristas e condições de tráfego, e permite aos utilizadores avaliar o desempenho do tráfego em diferentes cenários. Foi desenvolvida para modelar sistemas de transporte inteligentes e simular o comportamento do tráfego em ambientes urbanos. Esta ferramenta foi criada para fornecer aos utilizadores e desenvolvedores uma plataforma de simulação flexível e de alto desempenho para testar e avaliar novas tecnologias de transporte. O funcionamento do Flow é baseado em modelos de simulação de tráfego em larga escala, que permitem simular o comportamento do tráfego em uma cidade inteira ou em uma região específica. Ele usa uma combinação de modelos microscópicos e macroscópicos para representar o fluxo de tráfego em diferentes níveis de detalhe [6].

Veins

É uma plataforma de simulação de redes de veículos de código aberto para simular redes de comunicação entre veículos e infraestruturas. O Veins foi desenvolvido como uma extensão do simulador de redes Omnet++ e do simulador de tráfego Sumo. Utilizado para modelação e simulação de sistemas de transporte inteligentes e comunicações entre veículos, o Veins baseia-se em modelos de rede e mobilidade de veículos. Simula as comunicações entre veículos e estações base e avalia o desempenho de diferentes algoritmos de comunicação, aplicações de segurança e gestão de tráfego. O principal objetivo do Veins é fornecer um ambiente de simulação realista e flexível para investigadores e programadores que trabalham em tecnologias de comunicação V2V. Assim novas soluções podem ser testadas e validadas antes de serem implementadas em ambiente real [6].

OpenTrafficSim

É uma plataforma de simulação de tráfego de código aberto para simular tráfego em autoestradas e estradas urbanas. Cada veículo tem um controlador que define o seu comportamento e a tomada de decisões em relação a outros veículos na rede, o que permite simular um comportamento realista do veículo através de um modelo de mobilidade. Os objetivos do OpenTrafficSim são: (i) permitir a avaliação de diferentes estratégias de gestão de tráfego e sistemas de tráfego em diferentes cenários e condições de tráfego; (ii) Avaliar o impacto de diferentes fatores, como a densidade do tráfego, capacidade das estradas, sinais de trânsito e o comportamento dos condutores; (iii) Fornecer uma plataforma para o

desenvolvimento e ensaio de novas soluções de transporte, tais como veículos autónomos, sistemas de transportes públicos e estratégias inteligentes de gestão do tráfego; (iv) Facilitar a análise e visualização dos dados de simulação em tempo real ou em dias posteriores, para que os investigadores e os peritos possam retirar conclusões úteis dos resultados da simulação. É uma ferramenta altamente personalizável que permite a definição das características da rede de tráfego, como a geometria da estrada, topologia da rede e as definições dos sinais de trânsito. Pode também integrar diferentes modelos de veículos, que inclui veículos autónomos e elétricos, para simular diferentes cenários de tráfego. Com a sua vasta gama de funcionalidades e flexibilidade, o OpenTrafficSim é uma ferramenta valiosa para investigadores e profissionais interessados em avaliar e desenvolver soluções para problemas de tráfego e transportes [6].

VanetMobiSim

É uma plataforma de simulação de veículos autónomos de código aberto que serve para simular o comportamento de veículos autónomos em ambientes urbanos e em autoestradas. A plataforma inclui funções para modelar diferentes cenários de tráfego e avaliar o desempenho dos veículos autónomos em diferentes condições de tráfego. Os veículos são modelados com objetos de se deslocar em estradas e ruas. Cada veículo está equipado com um dispositivo de comunicação sem fios que pode comunicar com outros veículos na rede e com uma infraestruturas de rede fixa, como pontos de acesso *Wi-Fi*. A finalidade é permitir aos utilizadores avaliar e comparar o desempenho de diferentes protocolos de comunicação entre veículos em diferentes cenários e condições de tráfego, bem como o impacto de diferentes parâmetros de rede, como a densidade dos veículos, intervalo de tempo de transmissão e largura de banda [6].

Plataforma	Vantagens	Desvantagens
SUMO	Simulação de grandes áreas urbanas; suporte a múltiplos modos de transporte; interface gráfica do utilizador fácil de usar.	Alta curva de aprendizagem para utilizadores iniciantes; requer conhecimento em programação para criar cenários mais complexos.
TraNS	Altamente preciso e realista; interface de utilizador amigável.	Requer uma quantidade significativa de recursos computacionais; curva de aprendizagem é relativamente alta; configuração de cenários é mais difícil.
Flow	Altamente preciso e escalável; grande número de modelos de ML (<i>Machine Learning</i>) incorporados.	A curva de aprendizagem é relativamente alta requer conhecimento de ML.
Veins	Suporta a simulação de vários protocolos de comunicação e diferentes tipos de veículos; possui uma interface de utilizador fácil de usar.	Requer conhecimento em programação para personalizar cenários; curva de aprendizagem é relativamente alta; simulação de tráfego em grande escala pode ser mais lenta.
OpenTrafficSim	Altamente personalizável; permitindo aos utilizadores definir as características da rede e topologias	Limitações de dados; documentação limitada.
VanetMobiSim	No processo de simulação; se adapta melhor a inclusão de novos protocolos e recursos.	Requer conhecimento em programação para personalizar cenários; curva de aprendizagem é relativamente alta.

Tabela 7: Comparações de plataformas de simulação Veicular [6]

3.6 Conclusão Parcial

Neste capítulo, analisaram-se vários pontos concernentes a monitorização veicular. Começou-se por fazer um estudo das infraestruturas de rede aplicado ao tráfego veicular. Posteriormente, fez-se o estudo de metodologias para a implementação de técnicas de monitorização de tráfego em tempo real. Depois da análise chegou-se a conclusão que *MOBYWIT*, *VeTRA*, *Real-time video surveillance*, *On-Board Diagnostics - OBD*, são soluções que se adequam à monitorização de tráfego veicular, contribuem para reduzir o impacto de situação anómalas que ocorrem nas vias públicas como engarrafamentos, acidentes, congestionamento, melhorar o planeamento das rotas e aumentar a eficiência da utilização dos recursos de transporte, reduzindo a poluição atmosférica e o tempo de viagem. As soluções analisadas, ao permitirem obter informações em tempo real sobre o estado e desempenho dos veículos auxiliam a controlar o fluxo de tráfego e identificar situações de risco nas vias públicas. No final, fez-se um estudo de plataformas de simulação veicular *open source*, para testar e avaliar cenários veiculares, e apresentar resultados estatísticos sobre comportamentos dos tráfego ou pacotes capturados em vias públicas.

Capítulo 4

Análise Crítica e Discussão de Sistemas de Monitorização de Redes Veiculares

Neste capítulo efetuam-se reflexões e uma análise crítica sobre elementos considerados essenciais para monitorização de tráfego inteligente. A análise que se faz foi baseada nos termos de processamento, análise de dados coletados, garantia de segurança e privacidade, eficiência e escalabilidade de tráfego, desafios e limitações, tomada de decisão e ações corretivas. Para tais conclusões faz-se um estudo baseado em quatro propostas de sistemas implementados, especificamente, no contexto da monitorização que se relacionam com as áreas que foram abordadas na presente dissertação, isto é, nos capítulos anteriores. Os sistemas descritos são: sistema de monitorização de avarias de veículos, sistema de controlo e monitorização da velocidade de veículo baseado em IoT para reduzir ocorrência de acidentes nas estradas do Bangladesh e sistema de monitorização de tráfego veicular em 3D que utiliza uma única câmara inteligente. E finalmente, faz uma discussão sobre uma estrutura de simulação multi-pilha para testes de aplicações veiculares V2X. Neste contexto, foca-se a aplicabilidade das estratégias de monitorização veicular, apresentadas em diferentes perspetivas de forma a dar ênfase ou melhorar a claridade dos tópicos discutidos nos capítulos anteriores.

4.1 Análise do Sistema de Monitorização de Avarias de Veículos

Nesta secção faz-se a descrição da proposta de um sistema de análise a falhas baseado em nuvem, projetado para monitorar e diagnosticar falhas e correções de veículos em tempo real. Para o mesmo efeito, utiliza-se como solução a ferramenta OBD (*On-Board Diagnostics*) e redes de sensores sem fios (WSN/VSN) [42]. Segundo os autores o sistema funciona numa infraestruturas em nuvem [11], [43]. Isto significa que os dados são processados em servidores acessíveis através da Internet e armazenados em

locais remotos. O *Framework* OBD disponibiliza padrões de interfaces de forma a processar dados de diagnóstico e desempenho que permitem monitorar continuamente o estado do veículo em tempo real. Posteriormente, esses dados coletados são analisados sequencialmente. É com base nessa análise que o sistema consegue detetar eventos perigosos ou invulgares no veículo. Estas notificações são enviadas em tempo real para os dispositivos móveis dos condutores através de uma infraestrutura de redes sem fios (*Wi-Fi*) [11], [42]. Isto garante que os condutores estejam cientes do estado dos veículos e possam tomar medidas adequadas, se necessário. O sistema possui uma aplicação para *smartphone* que permite aos condutores visualizarem os dados capturados pelos sensores dos veículos. Estes dados são indicadores ou métricas de desempenho, diagnósticos do motor e outras informações relevantes.

De forma resumida, a arquitetura padrão do presente sistema apresenta-se conforme a Figura 12. O sistema é constituído por uma estação base, nós de sensores sem fios e um módulo de diagnóstico a bordo (OBD) que se comunica com o veículo [11], [42]. A estação de base recolhe informações da ECU, transmitidas pelo módulo OBD. O módulo liga-se à porta OBD do veículo e recolhe informações da ECU através de uma rede de bordo, como a CAN (*Controller Area Network*). A estação de base recebe e processa as informações dos sensores de cada nó. Por fim, as informações da ECU e dos sensores devem ser transmitidas a um *smartphone* para comunicar ao condutor sobre o estado atual do veículo.

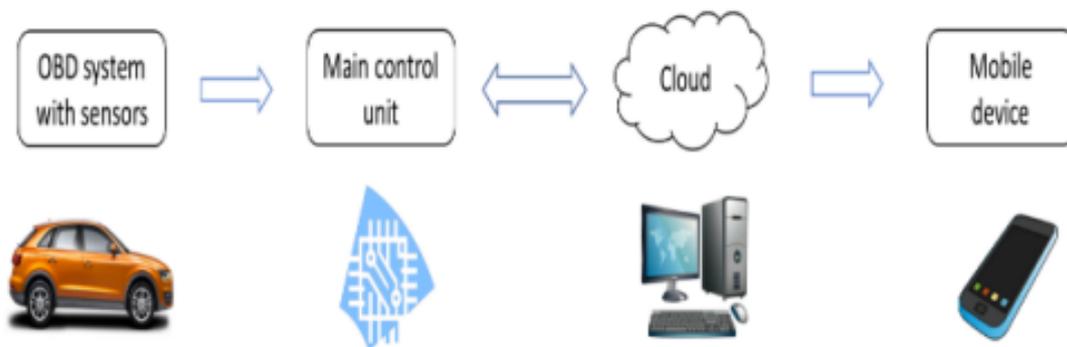


Figura 12: Arquitetura global do sistema [11]

O software da aplicação foi concebido para responder ao endereço IP do módulo *Wi-Fi* ligado a um *Raspberry Pi*. A partir desta conexão os condutores podem monitorar o estado mecânico do veículo através de um *smartphone* com a aplicação instalada e serviços de Internet ativos. Para ajudar o condutor, o *Raspberry Pi* está ligado a uma placa GPS, uma câmara traseira e um ecrã LCD para a interface do utilizador [11], [43]. O sistema necessita de se conectar em uma rede (CAN) com GPS e a uma rede celular e inclui métodos integrados para se comunicar de forma inteligente com partes do veículo e obter informações de diagnóstico em tempo real. Posteriormente executa os métodos de deteção precoce de falhas. Esta proposta é constituída por um servidor de diagnóstico de veículos e uma unidade de

bordo (OBU), em que informação da rede como a posição do veículo e outros dados em tempo real são transmitidos ao VDS (*Vehicle Detection System*) através de uma rede móvel 3,5G. Um modelo especializado incorporado no VDS avalia estes dados que são utilizados pelo OBU para desenvolver um sistema de diagnóstico em tempo real, permitindo o diagnóstico em tempo real e alerta dos eventos de falhas [43]. Parâmetros como o nível do óleo, estado da bateria, as emissões de escape e a abertura do acelerador podem ser verificados pelo utilizador em tempo real. Desta forma, o utilizador pode conhecer o estado e a eficiência do veículo enquanto está na estrada. Com base na análise nesses parâmetros, mostra-se os resultados de cada parâmetro analisado e faz-se uma abordagem sobre medidas preventivas e corretivas a considerar [11].

As Figuras 13, 14 e 15 ilustram a forma como os veículos são monitorados e diagnosticados pelos sensores (OBD) instalados nos veículos. Como indicado pela 13, o condutor consegue ver em tempo real, a partir do ecrã LCD, a indicação sobre nível de óleo (*oil level low*), podendo tomar medidas preventivas em função desta informação ou parâmetro, como procurar um especialista da área ou repor o nível do óleo. [11].



Figura 13: Indicação de nível de óleo baixo [11]

Já na Figura 14, a informação de diagnóstico refere-se ao estado da bateria do veículo. Em função desta informação, o condutor pode tomar precauções se verificar que o valor está abaixo ou acima do valor considerado normal (11.9 volts, neste caso) [11].



Figura 14: Estado da bateria [11]

A Figura 15 mostra o estado da posição do acelerador usado para monitorar a tração do veículo. Em caso de anomalia, o sistema dispara uma notificação informando o condutor sobre o estado do veículo e medidas a serem tomadas nestas condições [11][44].



Figura 15: Indicação anormal da posição do acelerador [11]

A Figura 16 ilustra a monitorização do teor dos gases MQ2 do escape do veículo, indicando a percentagem do Dióxido de Carbono (CO) detetado. Se este valor ultrapassar 80% é enviada, uma notificação ao condutor sobre medidas a tomar e os comandos do veículo são desligados de forma preventiva [11].



Figura 16: Indicação dos gases de escape [11]

4.1.1 Impacto da Aplicação

O presente sistema possui um impacto significativo no contexto da monitorização do tráfego em cidades inteligentes. O acesso a informações em tempo real sobre o estado do veículo, como o nível do óleo, bateria, omissões de escape e a abertura do acelerador, permitem que as autoridades de trânsito tomem decisões mais informadas. Isto ajuda na otimização do encaminhamento do tráfego e dos tempos de viagens em caso de problemas com os veículos. O sistema permite a deteção precoce de veículos com problemas mecânicos, elétricos ou de emissões. Isto reduz o risco de acidentes de viação devido a avarias

inesperadas. Ao monitorar constantemente o estado dos veículos, as autoridades rodoviárias podem prever quando é necessário efetuar a manutenção. Deste modo, evita-se que os veículos defeituosos provoquem congestionamentos de trânsito. Com informações sobre as emissões dos veículos, as cidades inteligentes podem tomar medidas para reduzir a poluição do ar, assim como identificar e notificar os proprietários de veículos que estão a emitir poluentes acima dos limites permitidos. Isto pode incentivá-los a efetuar uma manutenção preventiva e a adotar estilos de condução mais eficientes. Os dados recolhidos pelo sistema podem ser utilizados para a análise do tráfego em grande escala e podem ajudar a identificar áreas problemáticas onde são necessários melhoramentos no planeamento urbano e nas infraestruturas rodoviárias.

4.2 Análise de um Sistema de Monitorização e Controlo da Velocidade dos Veículos

Nesta secção faz uma reflexão sobre a proposta de um sistema de monitorização veicular, que vai permitir reduzir o fluxo de acidentes rodoviários no Bangladesh, sendo considerada uma solução tecnológica para os problemas de condução de alta velocidade. A maior parte da população do Bangladesh depende fortemente dos transportes públicos. Os acidentes rodoviários causados pela condução em alta velocidade são atualmente um dos maiores desafios que o país enfrenta. A proposta atual possui maior aceitação, pois, trata-se de um sistema veicular que permite controlar a velocidade em tempo real baseado nos limites de velocidade estabelecidos pela norma do país. A solução usa tecnologias como *Radio Frequency Identification System* (RFID), leitor RFID 522 e GPS, para rastrear o tráfego e estimar a velocidade do veículo em estrada, cruzamento e autoestrada [12]. Cada veículo está equipado com um cartão RFID único que contém informações de identificação do veículo, como o número da matrícula e um ID único. O cartão é lido por leitores RFID colocados em pontos-chave ao longo da estrada [12]. O sistema utiliza GPS para rastrear a posição atual de cada veículo em tempo real. Isso permite que as autoridades monitorem a localização e o movimento de todos os veículos na estrada. Os sensores IR de medição de velocidade utilizam radiação, infravermelho para medir a distância entre o sensor e o veículo. A partir da alteração da distância ao longo do tempo, o sistema pode calcular a velocidade do veículo. Isto permite ao sistema determinar se o veículo está a exceder os limites da velocidade [12]. Assim, em termos práticos, o objetivo do sistema é minimizar de forma exponencial o número de acidentes e, conseqüentemente, a mortalidade rodoviária que se verifica no país.

Para mitigar as situações descritas acima, os autores implementaram uma proposta de solução que

funciona da seguinte forma, quando o veículo passa por um posto de controle na estrada, o leitor RFID 522 lê o cartão RFID do veículo e identifica o número de identificação do veículo, conforme a Figura 17 [12].

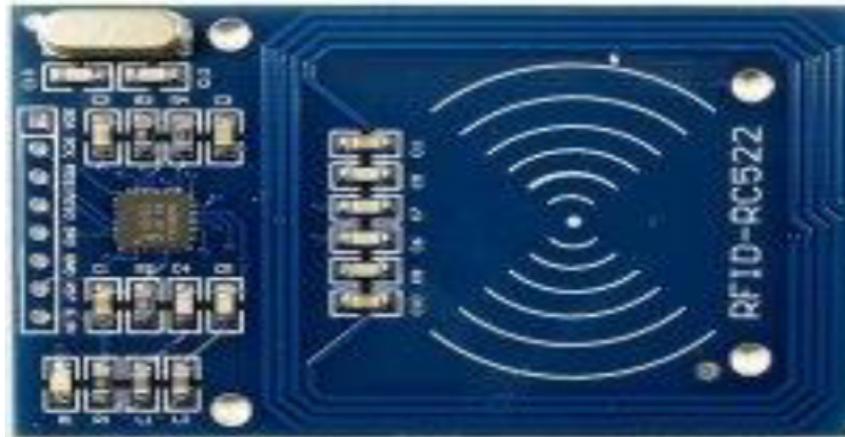


Figura 17: Cartão RFID para identificação do veículo [12]

Em simultâneo, um sensor IR mede a velocidade do veículo com base na distância e no tempo. Os dados relativos à velocidade e à identificação do veículo são transmitidos a um sistema central de processamento. O sistema central verifica se o veículo excede o limite de velocidade permitido. Se a velocidade estiver no limite, não é emitido qualquer aviso. Caso contrário, é emitido um aviso, as autoridades de trânsito têm acesso a informações em tempo real através do sistema central. Isto permite-lhes monitorar a posição dos veículos em excesso de velocidade e tomar as medidas adequadas, tais como emitir multas ou avisar os condutores para reduzirem a velocidade [12].

4.2.1 Requisito de Hardware e Software

Para além das tecnologias já apresentadas, de forma geral o sistema inclui um Arduino NANO e um microcontrolador utilizado para realizar várias funções de controle e processamento de dados. Inclui ainda um módulo módulo RFID e GSM para enviarem mensagens ou notificações de alta velocidade para motoristas e autoridade. O LCD display é usado para exibir informações relevantes, como alertas de alta velocidade. E, de igual modo, são incluídos um dispositivo sonoro que pode emitir alarmes ou alertas sonoros, *Rectifier DC12v* e um retificador utilizado para converter a tensão elétrica. São também usados uma bateria de 6v para alimentar o sistema e um transformador para converter a tensão elétrica e vários sensores conectados. O sistema operativo Windows, linguagem de programação C++, Arduino IDE e um ambiente de desenvolvimento integrado usado para programar o microcontrolador e o Arduino são algumas especificações requeridas para o desenvolvimento do sistema [12].

4.2.2 Impacto da Aplicação

O principal objetivo deste sistema é reduzir o número de acidentes rodoviários, que é um problema que se agrava dia após dia no Bangladesh. Ao controlar a velocidade dos veículos e identificar aqueles que estão em excesso, o sistema pode ajudar a evitar colisões e salvar vidas. A imposição rigorosa de limites de velocidade e a aplicação de penalidades por excesso de velocidade podem incentivar os motoristas a adotar comportamentos mais seguros na estrada. Isso pode resultar numa cultura de condução mais responsável. Com menos acidentes, haverá menos lesões e mortes nas estradas o que melhora significativamente a segurança rodoviária em todo o país. Menos acidentes significam menos gastos com saúde pública para tratar as vítimas de acidentes rodoviários. Isso pode aliviar a pressão sobre o sistema de saúde e conservar recursos. Com a ajuda de tecnologias como GPS, RFID, GSM podem ser reduzidos os congestionamentos de tráfego, melhorar o fluxo de tráfego e contribuir para uma cidade eficiente em termos de mobilidade entre outros benefícios associados. O sistema é capaz de gerar rendimentos que podem ser investidos em infraestruturas e projetos de mobilidade sustentável. Isto inclui a construção de estradas mais seguras, expansão dos sistemas de transportes públicos e a introdução de tecnologias mais avançadas. O sistema recolhe uma grande quantidade de dados sobre tráfego e comportamento do condutor. Estes dados podem ser utilizados para análises avançadas, que permitem que as autoridades tomem decisões baseadas em provas para melhorar o planeamento urbano e a segurança no trânsito. Essas transformações apontam para uma cidade inteligente que visa melhorar a qualidade de vida dos cidadãos através da melhoria do tráfego e da redução da poluição atmosférica.

4.3 Análise do Sistema de Monitorização de Tráfego Veicular em 3D usando uma única Câmara

Esta secção concentra-se na análise de um sistema de monitoramento de tráfego veicular 3D em tempo real, que utiliza apenas uma única câmara de tráfego (CFTV) [13]. É um sistema que se apoia em algoritmos desenvolvidos no contexto da visão computacional, o sistema desempenha um papel fundamental nas áreas de ITS no que toca à vigilância de tráfego. Com o crescimento rápido dos veículos automatizados e das cidades congestionadas, os sistemas de gestão de tráfego automatizados e avançados (ATMS) foram aprimorados por meio das técnicas de redes neuronais profundas (*deep neural networks*). Os autores desenvolveram uma plataforma prática para monitoramento de tráfego veicular em tempo real, que inclui deteção de veículos/pedestres em 3D, deteção de velocidade, estimativa de trajetória e deteção de

congestionamento. O rastreamento destes objetos é feito usando uma única câmara inteligente de captura de tráfego [13]. A Figura 18 ilustra as etapas do processo de avaliação dos objetos monitorados num determinado ambiente. Na primeira etapa faz-se os inputs dos dados capturados em bruto. A segunda etapa corresponde ao pré-processamento onde os dados em bruto são avaliados (a seleção é feita a partir de um nível de importância dos dados). Na fase de processamento, os dados são tratados e transformados no contexto aceite pelo modelo, posteriormente faz-se a seleção e avaliação do modelo a ser implementado, e como última etapa, faz-se análise dos resultados finais obtidos [13]. O modelo implementado corresponde aos modelos da família *you only look once*, (YOLO) conforme se abordou no Capítulo 3. Os autores afirmam que este modelo possui melhor desempenho e uma boa *dense prediction* na avaliação dos resultados em relação outros modelos aplicados também no contexto da visão computacional [13]. Por isso, nesta abordagem optou-se pelo YOLO versão 5 para rastrear objetos específicos num ambiente de tráfego veicular [13].

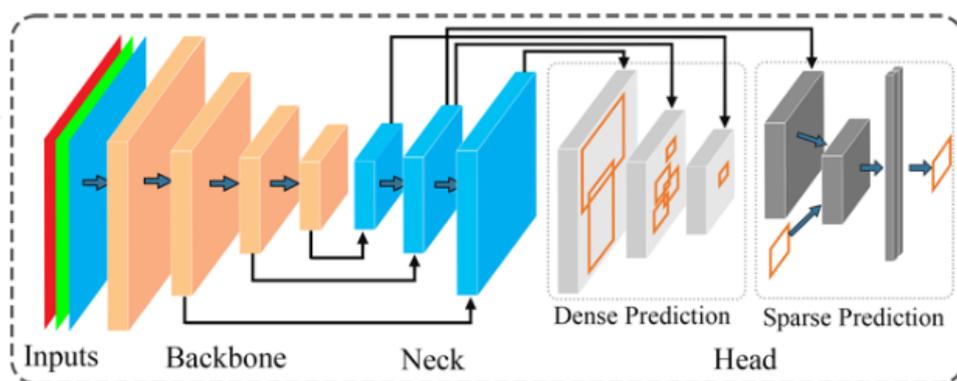


Figura 18: Processo de avaliação para deteção de objetos baseado em algoritmo de rede neural profunda [13].



Figura 19: Classificação e localização de objetos em Ambiente Veicular [13]

A aplicabilidade do processo anterior no âmbito veicular verifica-se conforme a ilustração da Figura 19, onde o sistema rastreia a órbita de um objeto ao longo do tempo. Com base nas informações de detecção e seguimento, o sistema realiza várias análises de tráfego em tempo real em função das características específicas dos objetos. O mesmo consegue medir parâmetros como velocidade do veículo, congestionamento, contar veículos, velocidade média e outros parâmetros. Em função das informações recolhidas e na análise em tempo real, as autoridades de trânsito podem tomar decisões informadas sobre a gestão do tráfego, a segurança rodoviária e outras medidas necessárias para melhorar o fluxo de tráfego e a segurança rodoviária [13].

4.3.1 Impacto da Aplicação

Neste ponto se quer ressaltar alguns aspectos relevantes na adoção desse sistema. Primeiramente, o sistema é baseado nas técnicas de inteligência artificial e usa um algoritmo potente que apresenta níveis de precisão altos. Na avaliação dos resultados isso garante clareza e eficiência na detecção de objetos como veículos, pedestres, motocicletas e outros objetos que circulam nas vias públicas. Desta forma, o sistema ajuda a prevenir acidentes de trânsito, salvar vidas, alertar os motoristas sobre a presença de pedestres, veículos em movimento e outros obstáculos. O rastreamento de objetos em tempo real oferece uma visão melhor do fluxo de tráfego, permitindo que se otimize e se faça gestão de sinais, ajuste a latência e melhore o fluxo de tráfego, com o objetivo de reduzir o congestionamento. Os sistemas de monitorização rodoviária que usam uma única câmara para detetar e rastrear objetos num espaço tridimensional podem ser altamente eficientes e económicos. É especialmente útil para as grandes áreas onde a infraestrutura de câmaras é limitada. O sistema ajuda a identificar rapidamente acidentes de trânsito e outras emergências. Permite também que as autoridades e os serviços de emergência respondam rapidamente à situação. A automação e a eficiência do sistema reduzem os custos operacionais de monitoramento de tráfego e segurança rodoviária. Os dados coletados pelo sistema podem ser usados para análise de tráfego planeamento urbano eficaz no longo prazo, como construção de novas estradas e implementação de medidas de segurança rodoviária. Este sistema pode lançar as bases para investigação futura em ML e visão computacional, tecnologias de segurança rodoviária e contribuir para o progresso do campo.

4.4 Análise de uma Estrutura de Simulação Multipilha para Testes de Aplicações Veicular V2X

Nesta secção discute-se o desenvolvimento de um *framework* de simulação de código aberto para testar aplicações veiculares que dependem de comunicações V2X. Conforme abordado anteriormente este tipo de aplicações visa melhorar a segurança rodoviária, otimizar recursos de transporte e melhorar a experiência do utilizador em trânsito [14]. As aplicações veiculares requerem frequentemente testes extensivos, mas a sua implementação em cenários reais pode ser complexa e dispendiosa. Por conseguinte, a simulação é uma abordagem prática e mais eficiente neste âmbito. Os autores apresentam uma solução projetada para o simulador *ns-3* que incorpora modelos avançados de comunicação veicular e usa o simulador de mobilidade urbana (SUMO) para gerir a mobilidade dos veículos (ver Figura 20). Ao contrário de outros *frameworks* que geralmente suportam apenas uma pilha de comunicação, este *framework* unifica várias pilhas de comunicação num único repositório. O SUMO explora melhor normas protocolares como *IEEE 802.11p* (baseado em *frameworks WiFi* para redes veiculares), 3GPP C-V2X (módulo celular) e 3GPP LTE [14]. Estas pilhas protocolares operam na banda de 5,9 GHz, reservada para comunicações veiculares a nível da Europa. Os autores fornecem duas aplicações de exemplo para demonstrar as capacidades do *framework*, uma aplicação de aconselhamento de velocidade e outra de aplicação de alerta de veículo de emergência. O principal foco é criar um modelo de simulação que permite aos investigadores avaliar e comparar diferentes protocolos de comunicação (*802.11p*, *C-V2X*, *LTE*) em diferentes cenários de comunicação veiculares [14].

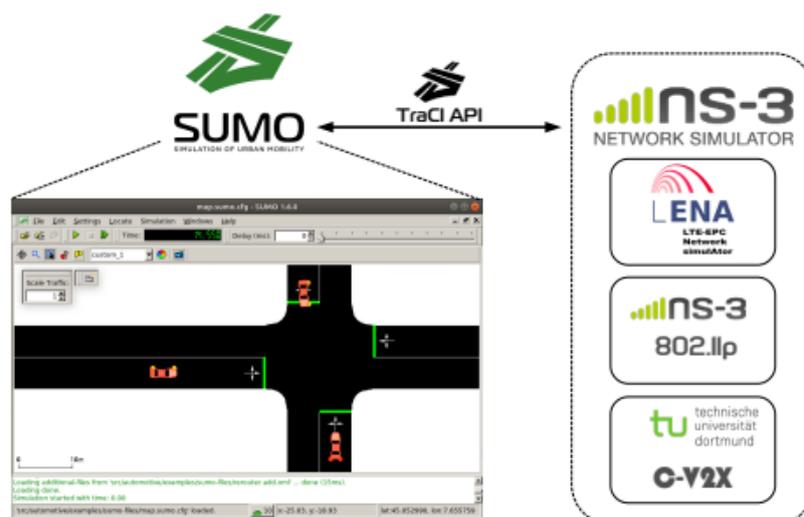


Figura 20: Principais componentes do *framework* de simulação [14].

A estrutura de simulação consiste em duas peças de softwares diferentes que interagem entre si para fornecer uma plataforma flexível para aplicações de teste. Estes dois produtos de software baseados no SUMO versão 1.6 permite aos utilizadores modelar a localização dos nós da rede veicular de acordo com um modelo de mobilidade dinâmicas e realistas, criar cenários de veículos arbitrariamente complexos utilizando a técnica *API TraCI* e permitem interação com elementos de simulação o que facilita a visualização e manipulação dos resultados obtidos [14].

O ns-3 é um simulador de código aberto que permite aos utilizadores codificar múltiplos aspetos da comunicação entre diferentes entidades, como se mostra a seguir. A Figura 21, mostra a interface gráfica de utilizador SUMO que foi seleccionada para testar e avaliar a aplicação de comunicação V2X durante um processo de simulação [14]. No contexto do *framework*, o intercâmbio de mensagens baseia-se numa mensagem ITS normalizada e definida pela *European Telecommunications Standards Association* (ETSI). Existem vários tipos diferentes de mensagens destinadas a facilitar o intercâmbio de dados entre veículos em movimento; descrevem-se dois tipos:

- *Cooperative Awareness Message* (CAM): é uma mensagem enviada periodicamente por um veículo com uma frequência até 10 Hz. Este tipo de mensagem pode conter informações sobre localização, velocidade, direção e estado atual, bem como outras variáveis relevantes derivadas do atributo remetente.
- *Decentralized Environmental Notification Message* (DENM): estas mensagens reportam eventos e estão geralmente relacionadas com perigos na estrada, possíveis situações perigosas ou eventos gerais relacionados com o destinatário [14].

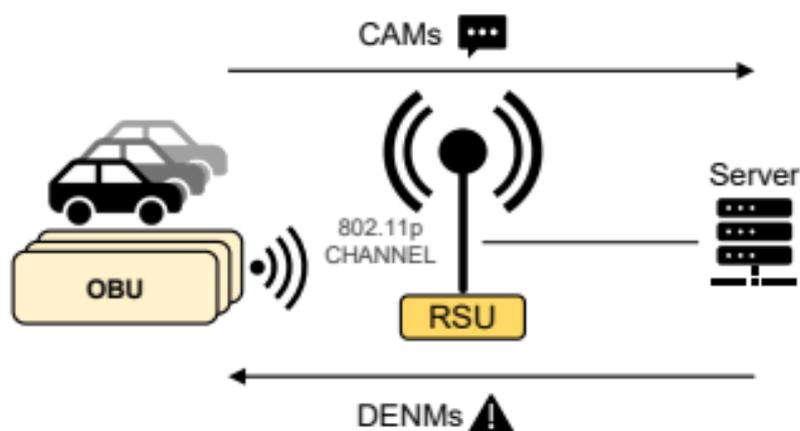


Figura 21: *Framework V2I 802.11p* baseado em *WAVE* [14].

Estas mensagens normalizadas são essenciais para uma comunicação eficiente e segura entre as redes veiculares que podem partilhar informações relevantes para melhorar a segurança e a eficiência na estrada. A estrutura de simulação suporta a criação e a partilha destas mensagens no ambiente de simulação, permitindo que as aplicações V2X se comuniquem com sistemas controlados [14]. No contexto do modelo V2V, os veículos utilizam a comunicação direta para enviar mensagens de reconhecimento de colaboração (CAMs) e mensagens de notificação de ambiente distribuído (DENMs). Neste caso, a lógica da aplicação é totalmente distribuída por todos os veículos. Podem-se selecionar dois modelos de comunicação diferentes para ativar esta definição como o C-V2X e o 802.11p, como ilustrado nas Figuras 22 e 23.

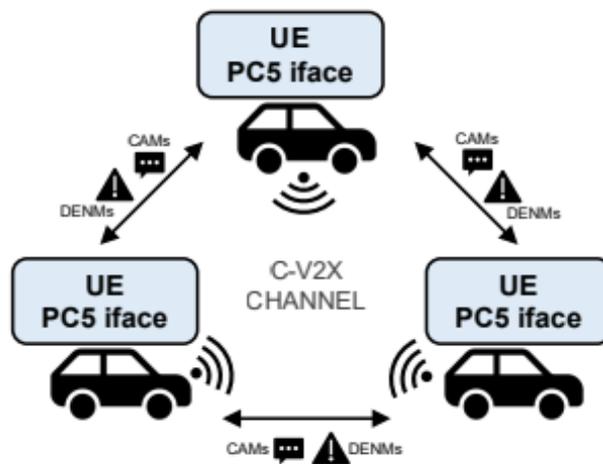


Figura 22: Framework baseado em V2V C-V2X [14].

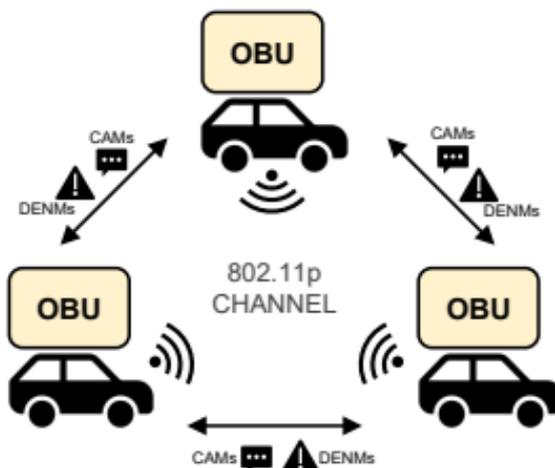


Figura 23: Framework V2V 802.11p baseado em WAVE [14].

Na lógica de comunicação V2V baseada em *802.11p WAVE* ilustrada na Figura 23 os veículos comunicam por meio da interface PC5 e trocam mensagens diretamente com os seus pares por meio de *sidelinks (SL)*, sem depender da estação base (*eNB*). Assim como no cenário V2I, os veículos estão equipados com OBUs, mas neste caso, transmitem mensagens CAMs e DENMs entre si. A lógica básica da aplicação é dividir o mapa em duas regiões diferentes. A primeira zona é uma zona central composta por dois cruzamentos com uma velocidade máxima permitida de 25 km / h. A outra zona é formada por linhas transversais. Em ambos os casos, a ferramenta está configurada para enviar mensagens da câmara a certos intervalos de tempo, sendo recebidas pelo ponto de acesso à rede e enviadas para o servidor. O servidor reconhece os limites das duas zonas e analisa a posição do veículo. Quando notar que um veículo se desloca de uma zona para outra, é enviada uma mensagem DENM. As mensagens DENM são utilizadas para rastrear a posição e a velocidade de um veículo, tais como a necessidade de reduzir a velocidade ou a possibilidade de aumentar a velocidade. Quando ocorre uma troca de zona, o servidor envia uma mensagem DENM para avisar o motorista de que a velocidade deve ser ajustada de acordo com as regras da nova área [14]. Isto demonstra a capacidade de uma estrutura de simulação para modelar cenários complexos de comunicação V2I (*LTE ou IEEE WAVE*). A capacidade de codificar e decodificar mensagens de acordo com as normas ETSI, tais como CAMs e DENMs, é essencial para garantir a conformidade com os regulamentos de segurança e eficiência no trânsito [14].

As mensagens CAMs são usadas para rastrear a posição e a velocidade do veículo. Quando ocorre uma troca de zona, o servidor envia uma mensagem DENM para avisar o motorista de que a velocidade deve ser ajustada de acordo com as regras da nova área.

4.4.1 Aplicação V2V num Cenário Real de Alerta a Emergência

O cenário apresentado na Figura 24, demonstra a simulação de um caso em que veículos normais interagem com veículo de emergência (VE), com suporte ao IEEE 802.11p e 3GPP C-V2X, com a finalidade de testar a conectividade e comunicação de veículos de forma a avaliar a precisão de mensagens ETSI (CAM e DENM). Em ambos os casos, as mensagens ETSI são diretamente trocadas entre veículos. Isso significa que todos os veículos trocam mensagens CAM para informar aos nós próximos sobre o seu estado atual [14]. No entanto, o cenário também inclui a presença de um VE, que pede prioridade aos outros veículos por questões de emergência. Um VE pode ser uma ambulância, uma moto da polícia ou um veículo de bombeiros. Especificamente neste cenário, os VE estão enviando periodicamente mensagens DENM para todos os veículos próximos. Após receber uma mensagem relevante, ou seja, uma mensagem DENM de um VE que se aproxima, o veículo normal tentará limitar o seu impacto em relação ao VE. Se um veículo

normal estiver a viajar na mesma faixa que o VE, aumentará a velocidade e tentará mudar de faixa o mais rápido possível. Neste cenário, o objetivo é permitir que os veículos de emergência se movam rapidamente sem serem bloqueados pelo tráfego normal. Na mensagem DENMs, foram tomadas medidas para garantir que os veículos elétricos possam seguir viagem sem restrições [14].

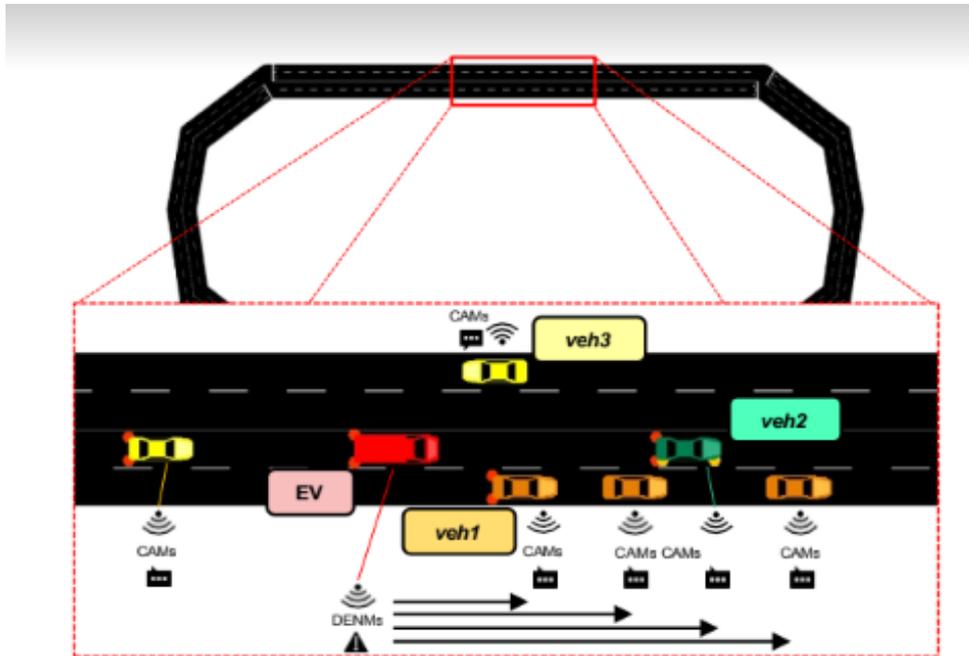


Figura 24: Duas capturas de ecrã do *SUMO-GUI*, mostrando o mapa e o funcionamento da aplicação V2V [14].

4.4.2 Análise dos Resultados

Para se ter uma avaliação melhor dos resultados, os autores testaram vários cenários, envolvendo diferentes números de veículos com diferentes características (ligeiros e pesados). No primeiro ensaio seccionaram-se 5 a 40 veículos. Sendo que em todas as observações analisa-se a densidade do número de veículos por quilómetro em trânsito livre e cruzado. Os veículos atingiram uma velocidade máxima de 100 km/h, e para cada densidade, executaram-se 100 simulações, cada uma com duração de 200 segundos [14]. Os resultados são ilustrados na Figura 25, em que as diferentes densidades são apresentadas no eixo x e a velocidade média no eixo y. Para cada resultado é visualizado o intervalo de confiança de 95% em todas as simulações. Os resultados mostram que houve sucesso no controle da velocidade em relação número total de colisões nos cruzamentos e tráfego livre. Analisou-se também o comportamento dos VE e verificou-se que os restantes veículos reconheciam a presença dos VE e o comportamento adquirido era o esperado. Uma outra observação é concernente aos comportamentos dos veículos quando se aproximam

aos cruzamentos. Verificou-se que existem níveis de convergência alto, que diminui consideravelmente em relação ao número de colisões, pois quando maior é o tráfego menor é o número total de colisões [14].

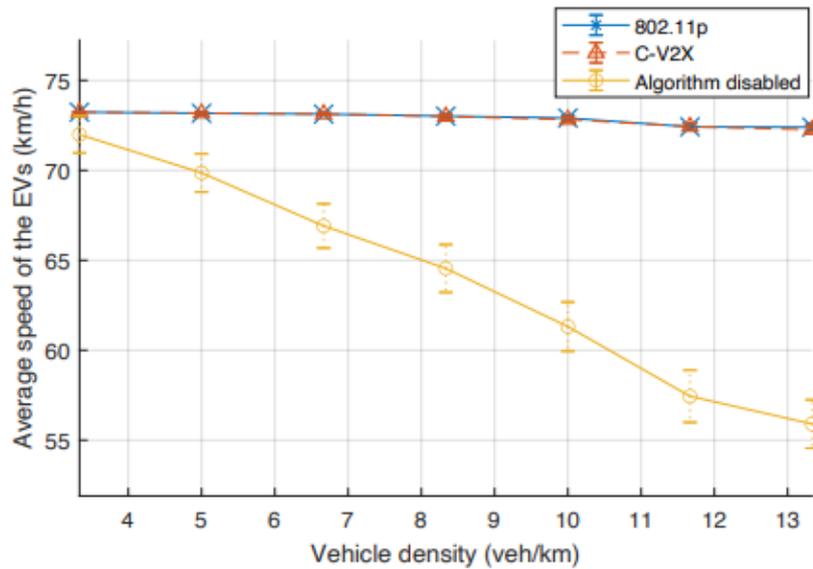


Figura 25: Resultados da simulação V2I/V2N [14].

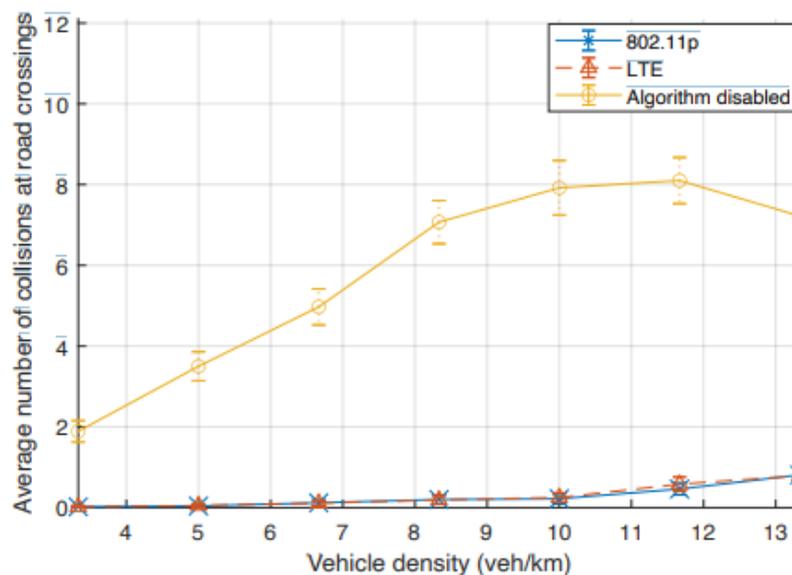


Figura 26: Resultados da simulação V2V [14].

Conforme ilustrado na Figura 26, quando o algoritmo é habilitado, o número de colisões é sempre baixo, com uma média de menos de 1 por simulação, mesmo quando a densidade é alta. Como a métrica principal para a avaliação da aplicação é baseada em V2V, os autores concentram-se na velocidade média

do VE, sob diferentes condições de tráfego, comparando o caso em que o alerta está habilitado (ou seja, DENMs são enviados pelos VEs), seja por meio do *802.11p* ou do *C-V2X*. Assim, como antes, para avaliar adequadamente a aplicação proposta, consideraram-se, diferentes densidades de veículos, variando de um total de 3 veículos por quilómetro até mais de 13 veículos por quilómetro. Para cada densidade, executaram-se 100 simulações, cada uma com duração de 200 segundos, sempre usando diferentes tipos de mobilidade, cada um incluindo dois VEs, um para cada direção de viagem [14]. De facto, os VEs quase sempre conseguem manter a sua velocidade máxima quando estão enviando DENMs para os veículos próximos, independentemente da densidade ou padrão de tráfego. Em vez disso, quando nenhum DENM é enviado e a densidade de veículos começa a aumentar, é possível observar uma queda consistente na velocidade do tráfego [14].

4.5 Reflexão e Desafios

Embora os sistemas em estudo ofereçam muitos benefícios para a gestão de tráfego em cidades inteligentes, também enfrentam desafios e limitações que convém ressaltar:

- na primeira análise 4.1, os autores usam tecnologias OBD, servidores em nuvem e sensores instalados no veículos para avaliação dos problemas em torno dos veículos. Nota-se que a instalação e manutenção de sensores, módulos de comunicação e infraestruturas em nuvem são dispendiosos. Isto pode constituir um desafio financeiro na hora de implementar esta proposta, principalmente para as cidades com recursos limitados. outro lado a recolha e transmissão de dados em tempo real sobre veículos levanta questões de privacidade. É essencial garantir que os dados sejam protegidos contra acessos não autorizado e utilizados apenas para fins legítimos. Na atualidade nem todos os veículos que circulam nas vias públicas estão equipados com tecnologia necessária para se ligarem aos sistemas de vigilância. Este facto limita a possibilidade de recolher dados de todos os veículos. Os sensores e dispositivos utilizados no sistema requerem manutenção e calibração regulares para garantir a exatidão das medições. A não realização de uma manutenção pode resultar em dados inexatos. Alguns condutores podem mostrar relutância em adotar sistemas de localização nos seus veículos devido às preocupações com a privacidade e a resistência à tecnologia. A disponibilidade de redes de comunicação fiáveis, como *Wi-Fi* e *3G/4G/5G*, é essencial para a transferência de dados em tempo real. Principalmente em zonas com conectividade limitada, o sistema pode não funcionar corretamente;
- na segunda análise 4.2, o sistema proposto para reduzir acidentes de trânsito no Bangladesh é uma

iniciativa louvável para enfrentar o problema crítico dos limites de velocidade. A questão é que a implementação deste sistema pode ser dispendioso. Além disso, os sistemas IoT requerem manutenção regular de sensores, leitores RFID e dispositivo GPS para uma operação adequada. Poeira, condições climáticas e outros fatores ambientais podem afetar o desempenho. Estes sistemas precisam de uma fonte de alimentação contínua para funcionarem adequadamente. A questão difícil é que existem áreas onde não há eletricidade confiável, pelo que nesses pontos a comunicação pode falhar. A precisão das medições de velocidade utilizando sensores IR e tecnologia RFID podem variar dependendo de uma variedade de fatores, incluindo a colocação do sensor, as condições ambientais e a qualidade da etiqueta RFID. Gerir e proteger os dados recolhidos a partir de cartões RFID e dispositivos GPS é fundamental para evitar a utilização indevida e violações de dados. O sistema limita-se às zonas onde está instalada a referida infraestrutura e outras zonas podem ser vulneráveis a acidentes. O alcance do leitor RFID (RFID522) pode ser limitado e pode não ser capaz de detetar veículos em alta velocidade até que estejam muito próximos. Por outros fatores ambientais, como chuva forte, neblina e interferência de sinal, podem afetar o desempenho dos sensores infravermelhos e dispositivo GPS. O uso de cartões RFID para identificação de veículos pode aumentar as preocupações sobre privacidade e rastreamento de dados. Outro lado, a expansão do sistema para abranger uma área mais vasta ou mais veículos pode exigir investimentos e planeamento significativos. Por fim, o sucesso do sistema depende da vontade do condutor de utilizar cartões RFID para cumprir o limite de velocidade;

- na terceira análise 4.3, o sistema de deteção e rastreamento de objetos em determinadas condições de estrada enfrentam muitas dificuldades e limitações. O facto do mesmo utilizar mecanismos ou algoritmos avançados de *Machine Learning* (ML), em termos de precisão, deteção e rastreamento de objetos podem não ser perfeitas. Efeitos adversos como mau tempo, falta de iluminação e presença de objetos semelhantes podem dificultar a precisão. As condições da estrada podem ser muito desafiadoras, como grande número de veículos, pedestres e objetos em movimento. Os objetos podem ser parcialmente ou completamente escondidos por outros veículos ou obstáculos na estrada, o que pode dificultar a deteção e o monitoramento contínuo. O processamento em tempo real é importante para a segurança rodoviária, mas é especialmente difícil em sistemas que usam a sofisticada análise de vídeo em tempo real. O uso de câmaras para monitorar as estradas em ambientes urbanos levanta preocupações sobre a privacidade dos cidadãos. É importante tomar medidas para proteger os dados e garantir que se cumpram políticas de privacidade. A instalação de um sistema avançado de monitoramento de seguimentos, bem como os seus com-

ponentes de hardware e software pode ser dispendioso. Por outro lado, a manutenção e calibração regulares são necessárias para manter a precisão do sistema de monitoramento de tráfego. Pode ser um processo demorado e caro. Os sistemas de monitoramento de estradas estão sujeitos a riscos de cibersegurança. É importante proteger esses sistemas contra ataques maliciosos. Por fim, a percepção geral de grandes sistemas de vigilância por vídeo pode ser difícil, especialmente quando surgem preocupações sobre privacidade e uso indevido dos dados coletados;

- na quarta análise 4.4 fez primeiro uma avaliação em prol das vantagens e posteriormente as limitações e desafios. A estrutura de simulação *multi-stack* é uma ferramenta valiosa para a investigação e desenvolvimento de aplicações veiculares. Permite testar e avaliar vários cenários de comunicação veicular, fornecendo informações importantes sobre o desempenho e a eficácia de diferentes tecnologias e aplicações. Este aspeto é importante para o avanço contínuo das soluções de comunicação dos veículos e para melhorar a segurança e a eficiência na estrada. A versatilidade na escolha de pilhas de comunicação que suportam a aplicações do tipo V2I/V2N e V2V é uma mais valia. É possível avaliar diferentes tecnologias de comunicação e entender como funcionam, uma vez que os utilizadores podem escolher entre várias pilhas de comunicação, como *LTE*, *802.11 p* e *C-V2X* e , entre outras, para teste e obtenção de resultados. Isto permite avaliar uma vasta gama de cenários, desde sistemas de controlo de tráfego, situações e veículos de emergência. É possível obter resultados claros provenientes de diferentes formas de simulação, a fim de obter maior clareza da aplicação em análise.

Por outro lado, quanto aos desafios e limitações, a configuração do framework proposto pode ser complexa, atendendo aos aspetos mencionados no Capítulo 3 sobre o SUMO, especialmente para os investigadores que não estão familiarizados com as ferramentas. Normalmente é necessário grande volume de dados para criar cenários realistas e específicos. A precisão da simulação pode ser afetada pela qualidade e disponibilidade destes dados. A escalabilidade da estrutura em cenários muito grandes pode ser difícil devido ao uso intensivo de recursos de computação, podendo limitar a sua capacidade de avaliar grandes cidades e grandes aplicações. Para aproveitar ao máximo o *framework*, é necessário um elevado nível de percepção sobre comunicação e protocolos veiculares, redes informáticas, conhecimentos de ns-3 e SUMO e uma compreensão aprofundada das normas ETSI.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

No presente trabalho abordaram-se estratégias de monitorização veicular em cidades inteligentes, e considerou-se três pontos principais. O primeiro ponto concentrou-se nos conceitos introdutórios deste trabalho. Esta etapa permitiu fazer uma análise sobre o valor das *smarts cities* frente os grandes desafios mundiais como oportunidade económica, educação e saúde, infraestruturas desenvolvidas, conectividade e tecnologia. Após longas pesquisas percebe-se de forma clara que as *smarts cities* representam uma tendência futura de inovação frente aos grandes desafios globais. São paradigmas que utilizam a concorrência tecnológica e a conectividade para impulsionar a economia, melhorar a qualidade de vida, fortalecer sistemas de saúde e educação, além de promover a sustentabilidade e eficiência tecnológica. No contexto das *smart cities*, *smart mobility* e *smart transportation* desempenham um papel fundamental na transformação da mobilidade em cidades inteligentes, proporcionando soluções mais eficazes, sustentáveis e seguras.

O segundo ponto deste trabalho, o estado da arte, é considerado ponto-chave porque o mesmo concentra-se em responder os objetivos de estudo levantados no primeiro ponto, sobre a monitorização de tráfego veicular, sendo que refletiu sobre as infraestruturas de comunicação veicular V2X, arquitetura e protocolos de comunicação. Abordaram-se também soluções relevantes e métricas associadas à monitorização de veículos e tráfego veicular. Com isso chegou-se a conclusão que tais soluções como *On-Board Diagnostics (OBD)*, *MOBYWIT*, *Vehicle Tracking for Roundabout Analysis (VeTRA)*, *Real-time video surveillance* são cruciais para análise e captura de dados em ambiente veicular, possuem vantagens em relação as outras que são de perspectiva global ou para fins gerais. As ferramentas em questão, de propósito específico, analisam dados em tempo real e informam sobre determinados comportamento do tráfego das redes veiculares, o que permite que as autoridades ajustem as condições de tráfego e melhorem a fluidez das vias. Isso reduz o congestionamento de tráfego e diminui o tempo de deslocação, o que contribui para uma mobilidade mais eficiente. Os dados de tráfego auxiliam no planeamento urbano, o que permitem o desenvolvimento de sistemas de transporte público eficazes e infraestruturas desenvolvidas e susten-

táveis, tais, como ciclovias, transportes compartilhados e outros paradigmas de transporte. Isso ajuda a enfrentar desafios relacionados a muitos eventos como a poluição do ar, congestionamento nas cidades e outras situações emergente da atualidade. A monitorização de tráfego contribui para a identificação de áreas de alto risco e padrões de condução perigosa, permitindo tomar medidas proativas de segurança rodoviária, o que reduz os acidentes e aprimora a segurança nas vias públicas.

Na última etapa fez-se uma reflexão generalizada baseada numa análise crítica sobre a aplicabilidade de soluções de monitorização descritas no ponto 2. A discussão focou-se no estudo de quatro propostas de monitorização veiculares como sistema de monitorização de avarias de veículos, sistema de controlo e monitorização da velocidade de veículo baseado na IoT para reduzir a ocorrência de acidentes na estrada no *Bangladesh*, monitorização de tráfego 3D utilizando uma única câmara e uma plataforma de simulação *multi-pilha* para testes de aplicações veiculares V2X. Feita a análise destes pontos concluiu-se que, uma vez implementados, os sistemas mencionados desempenham um papel importante no contexto social e das cidades, contribuem para a transformação urbana e resolvem problemas críticos. Por exemplo, o sistema integrado de monitorização de falhas do veículo contribui para um transporte mais seguro e eficiente, que proporciona uma maior capacidade de detetar problemas no veículo em tempo real. O sistema de monitorização e controlo da velocidade dos veículos do *Bangladesh*, ajuda a implementar limites de velocidade e a melhorar a segurança rodoviária, o que constitui um ganho significativo em muitas cidades. De forma geral, o objetivo da pesquisa focou-se nos principais elementos considerados essenciais que determinam o desenvolvimento tecnológico e social que resolvem problemas das cidades emergentes, de forma que elas sejam autossustentáveis e respondam aos desafios de tráfego quanto à mobilidade e transportação de recurso urbano.

5.1 Perspetiva de Trabalho Futuro

Em função das propostas analisadas no Capítulo 4, como trabalho futuro contempla-se: a implementar uma estratégia de monitorização, selecionar *datasets* com dados relacionados sobre determinadas classes de veículos e métricas associadas, usar uma estrutura que permita análise de dados num ambiente de teste V2X para posteriormente serem implementados num ambiente real. Pode-se considerar criar cenários mais complexos que permitam visualizar mais situações ou eventos relacionados com proposta de estudo. Num trabalho futuro pode-se também selecionar mais protocolos, ver compatibilidade entre eles, vantagens e desvantagens, bem como usar ferramentas de análise de fluxo de tráfego para avaliar os comportamentos desse tráfego. Pretende-se também dar resposta as questões que ficaram em aberto

na Secção 4.5. Quanto aos desafios e limitações das tecnologias identificadas nesta pesquisa sobre monitorização veicular, num trabalho futuro, seria interessante pesquisar sobre soluções tecnológicas que dão respostas aos desafios mencionados para minimizar o impacto destas limitações e garantir otimização de processos sustentáveis.

Referências Bibliográficas

- [1] Maria Alexandra Cunha, Erico Przeybilovicz, Javiera Fernanda Medina Macaya, and Fernando Burgos Pimentel dos Santos. *Smart cities transformação digital de cidades*. Programa Gestão Pública e Cidadania, 1st edition, 2016.
- [2] Patan Rizwan, K Suresh, and M. Rajasekhara Babu. Real-time smart traffic management system for smart cities by using internet of things and big data. In *2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT)*, pages 1–7, 2016.
- [3] Rong Du, Paolo Santi, Ming Xiao, Athanasios V. Vasilakos, and Carlo Fischione. The sensible city: A survey on the deployment and management for smart city monitoring. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 21(2):1533–1560, 2019.
- [4] Xuyu Wang, Shiwen Mao, and Gong Michelle X. Gong. An overview of 3gpp cellular vehicle-to-everything standards. *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, 21(3), 2017.
- [5] Priscila Copeland Palmeira, Marcos Pereira dos Santos, et al. Survey em Redes Veiculares usando o MixiM sobre o OMNeT++. *Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas*, 1(2):47–56, 2015.
- [6] Ghaida A. Al-Suhail Aljabry Israa. A Survey on Network Simulators for Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). *International Journal of Computer Applications*, 174(11), 2021.
- [7] Richard Gilles Engoulou, Martine Bellaïche, Samuel Pierre, and Alejandro Quintero. Vanet security surveys. *Computer Communications*, 44:1–13, 2014.
- [8] Rongxing Lu, Xiaodong Lin, Zhiguo Shi, and Xuemin Sherman Shen. A lightweight conditional privacy-preservation protocol for vehicular traffic-monitoring systems. *IEEE Intelligent Systems*, 28(3):62–65, 2013.
- [9] Lorenzo Mussone, Matteo Matteucci, Marco Bassani, and Davide Rizzi. An innovative method for the analysis of vehicle movements in roundabouts based on image processing. *Journal of Advanced Transportation*, 47(6):581–594, 2013.

- [10] B.L. Tseng, Ching-Yung Lin, and J.R. Smith. Real-time video surveillance for traffic monitoring using virtual line analysis. In *Proceedings. IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, volume 2, pages 541–544, 2002.
- [11] BC Nithin, Pooja Suresh, SS Sharmila, et al. On-board vehicle fault monitoring system. *Perspectives in Communication, Embedded-systems and Signal-processing - PiCES*, 4(5):82–84, 2020.
- [12] Ahsan Ullah, Arfatul Sumiraj, Md Shanawoaz, and Ahashanul Kabir. lot based vehicle speed monitoring and controlling system for reducing accident occurs on the road in bangladesh. *Journal of Advancement in Parallel Computing*, 3(5):1–17, 2020.
- [13] Mahdi Rezaei, Mohsen Azarmi, and Farzam Mohammad Pour Mir. Traffic-net: 3D Traffic Monitoring using a Single Camera. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4152596>, 2022.
- [14] Marco Malinverno, Francesco Raviglione, Claudio Casetti, Carla-Fabiana Chiasserini, Josep Mangués-Bafalluy, and Manuel Requena-Esteso. A multi-stack simulation framework for vehicular applications testing. In *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, pages 17–24, 2020.
- [15] Ruben Sánchez-Corcuera, Adrián Nuñez-Marcos, Jesus Sesma-Solance, Aritz Bilbao-Jayo, Rubén Mulero, Unai Zulaika, Gorka Azkune, and Aitor Almeida. Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(6), 2019.
- [16] Lara Kamila Silva Pinheiro et al. As cidades inteligentes e a gestão do trânsito: Proposições para a mitigação dos acidentes de trânsito. In *Atas do XXII ENGEMA*, Universidade de São Paulo, 2020.
- [17] ChuanTao Yin, Zhang Xiong, Hui Chen, JingYuan Wang, Daven Cooper, and Bertrand David. A literature survey on smart cities. *Sci. China Inf. Sci.*, 58(10):1–18, 2015.
- [18] Regina C. Figueiredo Castro. Impacto da Internet no Fluxo da Comunicação Científica em Saúde. 40:57–63. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2006.
- [19] Ricardo Faria, Lina Brito, Karolina Baras, and José Silva. Smart mobility: A survey. In *2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC)*, pages 1–8, 2017.
- [20] José Pedro Morais, Solange Lima, and Paulo Carvalho. Plataforma de configuração e monitorização de qos numa rede diffserv. In *Actas da CRC'2003 - 6ª Conferência sobre Redes de Computadores -*

Protocolos, Tecnologias e Aplicações para Ambientes Móveis, Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Bragança, 2003.

- [21] Amorim Arivaldo Leão. Cidades inteligentes e city information modeling. In *Actas del XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*, 2016.
- [22] Carla Silva Catarina Selada. As Cidades Inteligentes na Agenda Europeia Oportunidades para Portugal. In *Atas da 2ª Conferência de Planeamento Regional e Urbano, VIII ENPLANT e XVIII Workshop da APDR*, 2013.
- [23] Rong Du, Paolo Santi, Ming Xiao, Athanasios V. Vasilakos, and Carlo Fischione. The sensible city: A survey on the deployment and management for smart city monitoring. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2):1533–1560, 2019.
- [24] João A. F. F. Dias, Joel J. P. C. Rodrigues, Vasco N. G. J. Soares, João M. L. P. Caldeira, Valery Korotaev, and Mario L. Proença. Network Management and Monitoring Solutions for Vehicular Networks: A Survey. *Electronics*, 9(5), 2020.
- [25] Mallikarjun Anandhalli, Vishwanth P Baligar, Pavana Baligar, Pooja Deepsir, and Mithali Iti. Vehicle detection and tracking for traffic management. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 10(1):66, 2021.
- [26] Ni Ni San Hlaing, Ma Naing, and San San Naing. GPS-and GSM-Based Vehicle Tracking System. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(4), 2019.
- [27] Eun-Kyu Lee, Sungwon Yang, Soon Y. Oh, and Mario Gerla. RF-GPS: RFID assisted localization in VANETs. In *2009 IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, pages 621–626, 2009.
- [28] Abdul Hanan Abdullah Kashif Naseer Qureshi. A survey on intelligent transportation systems technologies. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 15:629–642, 2013.
- [29] Zishan Liu, Zhenyu Liu, Zhen Meng, Xinyang Yang, Lin Pu, and Lin Zhang. Implementation and performance measurement of a V2X communication system for vehicle and pedestrian safety. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(9), 2016.
- [30] Haixia Peng, Le Liang, Xuemin Shen, and Geoffrey Ye Li. Vehicular communications: A network layer perspective. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(2):1064–1078, 2019.

- [31] Kun Zhu, Dusit Niyato, Ping Wang, Ekram Hossain, and Dong In Kim. Mobility and handoff management in vehicular networks: a survey. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 11(4):459–476, 2011.
- [32] Alisson Barbosa de Souza. Offloading e seus paradigmas em cenários veiculares - um survey. Technical report, Universidade Federal do Ceará, 2019.
- [33] Amrita Ghosal and Mauro Conti. Security issues and challenges in v2x: A survey. *Computer Networks*, 169:107093.
- [34] Tareq Emad Ali, Layth A Khalil al Dulaimi, and Yamaan E Majeed. Review and performance comparison of vanet protocols: AOSV, DSR, OLSR, DIMO, DSDV & ZRP. In *AI-Sadeq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA)*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [35] Ermínio Augusto Ramos da Paixão, Jorge Amaro de Sarges Cardoso, Rafael Fogarolli Vieira, and Diego Lisboa Cardoso. Estudo do Fluxo Multimídia e Performance dos Algoritmos de Roteamentos em Redes Vanets V2V/V2I. *Brazilian Applied Science Review*, 4(3):1074–1085, May 2020.
- [36] Eduardo Pandini, Fernando Menezes Matos, Aldri Santos, and Adriano Fiorese. Uma proposta para avaliação de confiança em redes VANETs. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, pages 304–311. SBC, 2022.
- [37] Oscar Orozco Sarasti and Gonzalo Ramirez. VANET Applications Focused on Environmental Sustainability, A Systematic Review. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(2):111–132, 07 2014.
- [38] Nicoletta Lotrecchianoa, Daniele Sofiaa, Aristide Giulianoa, Diego Barlettaa, and Massimo Polettoa. Real-time on-road monitoring network of air quality. *Chemical Engineering*, 74, 2019.
- [39] Daniel Rodrigues, Jessica Nayara Severino, Andre Luis Cristiani, Fabiano Tadeu Mathias Costa, Luis Hideo Vasconcelos Nakamura, and Rodolfo Ipolito Meneguette. A Low-Cost Vehicular Infrastructure of Monitoring and Communicating Information for Intelligent Transport Systems. *Journal of Computer Science*, 15(7):930–943, Jul 2019.
- [40] Deepa Saibannavar. A Survey on On-Board Diagnostic in Vehicles Semantic Scholar, 2020. Online: Acedido em 2023-09-16.

- [41] Deepa Saibannavar, Mallikarjun M Math, and Umakant Kulkarni. A survey on on-board diagnostic in vehicles. In *International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics: ICMCSI 2020*, pages 49–60. Springer, 2021.
- [42] Ruan Delgado Gomes. Redes de sensores sem fio aplicadas ao monitoramento de motores em ambiente industrial. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2012.
- [43] Aba Elber George Pereira Cavalcante and Sânia Maria Belísio de Andrade. Inspeção Veicular - Análise de Laudos Reprovados em Emissão de Gases . *Revista MultiActual*, 3(11), November 2022.
- [44] Mr Temesgen Mengistu Helana. Embedded system for monitoring and controlling traffic accident in public transport. *Journal of Scientific Reports*, 2(1):1–16, 2020.

