



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Jéssica Assunção Pinto Freitas

DESENHO E REGULAÇÃO DE REDES VIÁRIAS:
DESAFIOS COLOCADOS PELOS VEÍCULOS
AUTÓNOMOS

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação, orientada pela Professora Doutora Ana Bastos e pelo Professor Doutor Álvaro Seco e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro 2019



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Jéssica Assunção Pinto Freitas

DESENHO E REGULAÇÃO DE REDES VIÁRIAS: DESAFIOS COLOCADOS PELOS VEÍCULOS AUTÓNOMOS

DESIGN AND REGULATION OF ROAD NETWORKS: CHALLENGES POSTED BY AUTONOMOUS VEHICLES

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Bastos e pelo Professor Doutor Álvaro Seco

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 07 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Não podia deixar de dedicar este espacinho para agradecer à minha família que me apoiou ao longo de todo o percurso. Um carinho especial para a minha mãe e as minhas avós.

Agradeço também aos meus amigos que nunca me deixaram desistir nestes anos de engenharia civil! À Sara, à Inês e à Carolina pelo apoio, por saberem melhor os meus deadlines do que eu e, juntamente com a Francisca, me animarem sempre.

RESUMO

A evolução da tecnologia na área da automação dos transportes tem sido notável ao longo das últimas décadas. A valorização do tempo de viagem, a melhoria da mobilidade abrangendo também a população com mobilidade condicionada, a diminuição dos acidentes e da poluição são alguns exemplos das inúmeras vantagens esperadas desta revolução tecnológica. Também se espera uma diminuição no tráfego apesar de não ser um facto consensual entre investigadores. No entanto, existem ainda muitas barreiras a superar para que esta tecnologia seja fiável, rigorosa e, sobretudo, segura.

A presente dissertação incide sobre a problemática dos veículos autónomos. É descrito sumariamente o estado de arte da temática, que abrange os aspetos tecnológicos e não tecnológicos, nomeadamente o futuro da mobilidade urbana, a situação atual da tecnologia, da legislação e da regulamentação.

As limitações à implementação deste sistema são especialmente relevantes na circulação em meio urbano. Este é um ambiente que se conhece complexo, justificado pelas interações entre o veículo e o meio envolvente, nomeadamente objetos, locais em obras, peões, ciclistas e outros veículos, muitas vezes imprevisíveis. Também as fracas condições de manutenção e de desenho da rede viária direcionado unicamente para os veículos tradicionais têm impacte na boa operacionalidade de um veículo sem condutor.

Nesse sentido, realizou-se uma análise sobre a adequação infraestrutural deste meio para acomodar desde já de forma eficiente os veículos autónomos. Por fim, identificaram-se as possíveis dificuldades a superar para uma circulação em rede urbana com tráfego misto, num estudo de caso na cidade de Coimbra. Verificou-se uma elevada frequência e sobreposição dos parâmetros definidos como limitações dos veículos autónomos, sobretudo em zonas residenciais e centros históricos, onde a função de acesso, prevalece à de circulação.

Palavras-chave: Veículo Autónomo; Meio Urbano; Limitações; Estado-da-Arte; Rede Viária; Adequação Infraestrutural; Estudo de Caso.

ABSTRACT

The technologic evolution of transport's automation has been remarkable in the past few decades. The reduction of the value of travel time losses, improving mobility, reducing accidents and pollution are just a few examples of the many benefits expected from this technological revolution. (A decrease in traffic is also expected although it is not a consensual fact among researchers). However, there are still many barriers to overcome for this technology to be reliable, accurate and above all safe.

This work focuses on the problem of autonomous vehicles. The state of the art is described briefly, covering the technological and non-technological aspects, namely the future of urban mobility, the current state of technology, legislation and regulation.

The limitations to the implementation of this system are especially relevant in urban circulation. This is a complex environment, justified by the interactions between the vehicle and the environment, such as objects, construction zones, pedestrians, cyclists and other vehicles, which are often unpredictable. Also, the poor maintenance conditions and the road network design directed only at traditional vehicles have an impact on the smooth operation of a driverless vehicle.

In this sense, an analysis was made on the infrastructural viability. Finally, we identified the possible difficulties to overcome for an urban network with mixed traffic, in a case study in the city of Coimbra. There was a high frequency and overlapping of parameters defined as VA limitations, especially in residential areas and historical centers.

Keywords: *Autonomous Vehicle; Urban Environments; Limitations; Readiness of the road; State-of-the-art; Road Infrastructure; Case Study.*

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos do trabalho.....	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	O VEÍCULO AUTÔNOMO	4
2.1	Enquadramento	4
2.2	Níveis de Automação	4
2.3	Modalidades de Transportes de VAs.....	8
2.4	Situação atual da tecnologia de VAs no mundo	10
2.5	O Futuro da Mobilidade Urbana - Efeitos e problemas previsíveis.....	13
3	VEÍCULOS AUTÔNOMOS CONETADOS.....	18
3.1	Enquadramento	18
3.2	Tipologias de V2X.....	18
3.3	Situação atual da legislação e regulação de VAs no mundo.....	22
3.4	Privacidade e Sistema Legal	24
4	DESAFIOS FUTUROS À ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO URBANO PARA ACOLHER OS VAS	26
4.1	Enquadramento	26
4.2	Tipologias de potenciais problemas.....	26
5	ESTUDO DE CASO	43
5.1	Seleção e Caracterização dos Locais	43
5.2	Identificação e Avaliação da Incidência Tipificada de Problemas	47
5.3	Discussão	57
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
6.1	Conclusões	60
6.2	Trabalhos futuros	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Funcionamento do VA da GM Cruise. Adaptado de (General Motors Inc., 2018). 7	
Figura 2.2 - Liderança em sistemas de automação automóvel. Adaptada de Research (2017). 10	
Figura 2.3– Paris Motor Show. Os Três modelos de <i>car-sharing</i> da Renault (Groupe-Renault, 2018).....	12
Figura 2.4 Funicular autónomo de Viseu. Fonte: (Ferreira, 2018).....	14
Figura 2.5 - Comparação de custos Adaptado de Litman (2018).	15
Figura 3.1 Comunicações V2X. Adaptado de Infrastructure Partnerships Australia, (2017). 20	
Figura 3.2 Fachadas de Mcity (Austin Thomason / Universidade do Michigan).	23
Figura 4.1 - Exemplos de questões infraestruturais a serem considerados Adaptado de Infrastructure Partnerships Australia (2017).	28
Figura 4.2 – Diferentes contrastes no pavimento. Fonte: Lawson, (2006).....	29
Figura 4.3 – O VA exhibe uma mensagem para o peão (Daimler AG, 2017a).....	38
Figura 4.4 – <i>Smart Roads</i> (Mairs, 2017).	38
Figura 5.1 – Trajeto 1: Solum– Praça da República.....	44
Figura 5.2 Trajeto 2: Rua Martins de Carvalho– Sé Velha – Portagem.....	44
Figura 5.3 – Trajeto 3: Rua dos Covões – Rua da Fontinha.....	45
Figura 5.4 – Trajeto 4: São Silvestre – Geria.	46
Figura 5.5 – Trajeto 5: São Frutuoso – Ceira.	46
Figura 5.6 - Trajeto 1 – Solum – Praça da República. Quantificação das possíveis limitações 50	
Figura 5.7 Relevância de cada critério no trajeto 1.	50
Figura 5.8 – Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 1.....	51
Figura 5.9 - Trajeto 2 –Rua Martins de Carvalho – Largo da Sé Velha – Portagem (Av. Emídio Navarro). Quantificação das possíveis limitações.	52
Figura 5.10 - Relevância de cada critério no trajeto 2.....	52

Figura 5.11 - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 2.	53
Figura 5.12 - Trajeto 3 – Rua dos Covões – Rua da Fontinha. Quantificação das possíveis limitações.	54
Figura 5.13 - Relevância de cada critério no trajeto 3.	54
Figura 5.14 - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 3.	54
Figura 5.15 - Trajeto 4 – N111 – Saída para Geria – Saída para São Silvestre. Quantificação das possíveis limitações.	55
Figura 5.16 - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 4.	55
Figura 5.17 - Relevância de cada critério no trajeto 4.	56
Figura 5.18 - Trajeto 1 – N17 – São Frutuoso - Ceira. Quantificação das possíveis limitações.	56
Figura 5.19 – Relevância de cada critério no trajeto 5.	57
Figura 5.20 - - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 5.	57
Figura 5.21 - Média de ocorrência de limitações em cada trajeto.	58
Figura 5.22 – Número de Incidência de cada critério por quilómetro percorrido, para a totalidade dos percursos.	59
Figura 5.23 – Análise global da incidência de cada “família de critérios”.	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Níveis de automação na condução segundo a SAE.....	6
Tabela 3.1 Comparação de tecnologias. Adaptado de International Transport Forum (2018)	21
Tabela 4.1– Sumário de problemas expostos nos projetos. Adaptada de Van Brummelen <i>et al.</i> , (2018).....	27
Tabela 4.2 – Exemplos de diferentes implementações da Convenção de Viena em 5 países. Adaptado de Dawson e Ratingen, (2014).....	31
Tabela A.1 – Folha de Levantamento de dados.....	i
Tabela C.2 – Legenda da Tabela B.1.....	i
Tabela D.3 - Levantamento de dados – Trajeto 2.....	i
Tabela E.4 - Legenda da Tabela 0.4.....	i
Tabela F.5 - Levantamento de dados – Trajeto 3.....	i
Tabela G.6 - Legenda da Tabela 0.6.....	i
Tabela H.7 - Levantamento de dados – Trajeto 4.....	i
Tabela I.8 - Levantamento de dados – Trajeto 5.....	i
Tabela J.9 - Legenda da Tabela 0.6.....	i

ABREVIATURAS

ABS	<i>Anti lock Breaking System</i>
ACC	<i>Adaptative Cruise Control</i>
ADAS	<i>Advanced driver assistance systems</i>
BMW	Bayerische Motoren Werke AG
CVRIA	<i>Connected Vehicle Reference Implementation Architecture</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
DGPS	GPS diferencial
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communication</i>
EBA	<i>Electronic Brake Assist</i>
EUA	Estados Unidos da América
GM	General Motors
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IFMO	<i>Institute for Mobility Research</i>
IMU	Unidade de Medida Inercial
IPA	<i>Infrastructure Partnerships Australia</i>
ITF	<i>Infrasctuture Partnerships Australia</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation System</i>
LAS	<i>Lane keep Assist System</i>
LDWS	<i>Lane Departure Warning System</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
P2P	Peer To peer
PIB	Produto Interno Bruto
RSU	<i>RoadSide Unit</i>
SAE	<i>Society of Automobile Engineers</i>
USDOT	<i>United States Department of Transportation</i>
V2D	Veículo para dispositivo
V2I	Veículo para Infraestrutura
V2V	Veículo para Veículo
V2X	Veículo para Tudo
VA	Veículo Autônomo
VAC	Veículo Autônomo Conectado
VAP	Veículo Autônomo Partilhado
VW	Volkswagen

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os recentes avanços tecnológicos na área dos transportes e da mobilidade urbana têm sido particularmente direcionados para a automação dos veículos, cujo objetivo final será a condução totalmente autónoma.

Entenda-se por Veículos Autônomos (VA) qualquer veículo terrestre dotado de um sistema robotizado que permita o transporte de pessoas ou bens de forma autónoma, isto é, sem requerer condutor (Wei e Júnior, 2013).

De acordo com as conclusões de Litman (2018), as previsões indicam 2030 como o ano em que os VAs se tornem acessíveis à população em geral, afirmando-se como uma alternativa à maioria dos veículos operados manualmente. Espera-se que providenciem mobilidade independente para não condutores, reduzam o *stress* e monotonia da condução e se tornem uma solução contributiva para a diminuição do congestionamento do tráfego, acidentes e poluição. Contudo estas vantagens expectáveis não são ainda consensuais perante a comunidade científica.

Empresas como a Google, Volvo, Daimler e Tesla têm vindo a revolucionar a tecnologia neste sentido, contando com milhares de quilómetros percorridos em fase de teste. Contudo, vários especialistas apontam para previsões mais pessimistas relativas à data de utilização generalizada dos VAs pela sociedade. Um artigo do jornal ITS indica a possibilidade de um aumento significativo do tráfego assim como um acréscimo de custos de forma a compatibilizar a rede viária corrente aos veículos sem condutores (Milakis et al. 2017).

A questão da adaptabilidade da rede viária é um assunto ainda pouco aprofundado. Charles Johnson (RAC Foundation), afirma que é improvável que os VAs se desenvolvam totalmente sem um investimento adequado em planeamento de transportes, intervenção política e gestão de infraestruturas (Johnson, 2017).

Um dos grandes desafios colocados por este avanço tecnológico será a sua adaptação a um meio que se conhece conflituoso - o meio urbano - onde os VAs terão de conviver com veículos não autónomos, bem como com outros modos de deslocação como o ciclável e o pedonal. O cenário que se espera da integração dos VAs no dia-a-dia da sociedade depende dos desenvolvimentos tecnológicos quer ao nível dos veículos, quer dos sistemas de localização e de comunicações, assim como da revisão das regras de conceção viária e de regulação das redes rodoviárias. Podendo nomeadamente ter de ser ajustadas as regras das prioridades relativas entre veículos em zonas de conflito, ou as regras de sinalização vertical e horizontal.

Nesta linha de ação, assume cada vez mais relevância o desenvolvimento de análises prospetivas sobre quais tenderão a ser os principais problemas que o meio urbano terá de enfrentar com a chegada dos VAs, seja ao nível da infraestrutura, seja das formas e regras de regulação, procurando, desde já, apontar para caminhos lógicos que contribuam para a sua resolução/mitigação.

1.2 Objetivos do trabalho

Existindo informação alargada sobre o tema dos VAs, revela-se, contudo, difícil entender qual será exatamente o ponto de situação neste sector. Essa dificuldade advém de uma falta de clareza sobre os níveis de automação quando as multinacionais, responsáveis pela produção dos veículos, revelam e publicitam os mais recentes feitos. Torna-se assim interessante fazer um levantamento do estado-de-arte do desenvolvimento da tecnologia, as perspetivas de futuro, bem como de que forma se pensa vir a adaptar a infraestrutura e instrumentos jurídicos de regulação para minimizar o impacto da presença dos VAs no funcionamento da rede viária urbana. Sublinhe-se que para além dos investimentos no sector automóvel para a criação do veículo autónomo, é igualmente essencial perceber se a infraestrutura que o vai receber está devidamente adaptada para este tipo de condução. É neste contexto que se insere a presente dissertação, procurando identificar potencialidades e debilidades da presença dos VAs em meio urbano.

Pretende-se, assim, identificar as dificuldades atuais para a integração do veículo sem condutor nas redes viárias existentes e analisar os obstáculos que a tecnologia terá de superar para se dar o salto para aquilo que será o futuro da mobilidade e das cidades.

Para tal, decidiu-se testar os conceitos no desenvolvimento de um estudo de caso, aplicado à cidade de Coimbra, Portugal, recorrendo a vários troços com níveis hierarquicamente distintos. Após a identificação dos parâmetros que retratam os obstáculos da infraestrutura corrente aos veículos autónomos, é feita uma análise dos troços urbanos, identificando os principais problemas e analisando a frequência dos mesmos.

Com isto tentar-se-á obter uma resposta à questão essencial: o quão preparada se encontra a rede viária corrente urbana para receber VAs num futuro próximo, particularmente em ambiente de uso “misto”, por veículos tradicionais e VAs?

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo introduz o tema abordado, explicando de forma sintetizada o assunto dos VAs e do seu enquadramento na infraestrutura viária. Detalha também as motivações e os objetivos deste trabalho, assim como a metodologia aplicada.

O capítulo 2 apresenta detalhadamente o conceito de VA, definindo os diferentes níveis de automação e as suas características prevalecentes. Numa segunda fase aborda as diferentes

modalidades de transportes que poderão ser associadas a esta tecnologia, referindo as evoluções atingidas pelas principais marcas de veículos neste sentido. Também é referido o estado da situação em termos tecnológicos. Por fim são discutidos os possíveis cenários associados à evolução da automação.

O capítulo 3 trata da interação entre veículos, e entre estes e a infraestrutura onde estão inseridos. Esta relação surge com a necessidade de precaver sistemas de comunicação de modo a coordenar os veículos e obter um desempenho ótimo. É feito um resumo do estado atual da regulamentação e legislação aplicada aos vários países envolvidos nesta tecnologia. Por fim, é abordada a problemática associada à conectividade: privacidade e ciberataques.

O capítulo 4 inicia o tema mais específico dos desafios ligados à infraestrutura atual. São identificados os problemas correntes que um veículo terá de enfrentar sendo posto em circulação numa rede urbana com tráfego misto.

No capítulo 5 é desenvolvido e apresentado um estudo de caso, aplicado à cidade de Coimbra, discutindo os resultados observados em cada trajeto analisado no estudo.

No capítulo 6 são discutidas conclusões sobre a presente dissertação. Mediante o estado de arte da tecnologia e da regulamentação analisado é feita uma reflexão sobre alguns caminhos para investigação futura.

Por fim, são apresentados as principais referências bibliográficas e os sites consultados.

2 O VEÍCULO AUTÓNOMO

2.1 Enquadramento

Atualmente os níveis de automação encontram-se em franco desenvolvimento e abrangem os vários modos de transporte. Exemplos disso podem ser observados em comboios autónomos já em circulação e planeia-se o mesmo nível de desenvolvimento aplicado à aviação. Assim, existe uma necessidade de atualizar continuamente o estado-de-arte relativo à evolução desta tecnologia no sector dos transportes.

Neste capítulo pretende-se, numa primeira fase, apresentar os vários níveis de automação de forma a caracterizar os diferentes estádios de desenvolvimento do veículo autónomo, enquanto objeto central da presente dissertação. São ainda discutidas as modalidades de transportes, associadas aos níveis mais elevados de automação que se encontram nos planos dos grandes fabricantes de veículos automatizados.

Complementarmente, é feita uma revisão dos marcos tecnológicos até à atualidade, verificando à escala global, as tendências mais recentes para cada nível de automação. Posteriormente, serão analisados alguns indicadores que permitam avaliar o que será o futuro da mobilidade urbana em termos de integração no mercado de veículos totalmente autónomos, dos impactes na gestão da infraestrutura urbana, assim como nos custos e benefícios para a sociedade.

2.2 Níveis de Automação

Os veículos podem ser categorizados por tipos de mecanismos operacionais e por níveis de autonomia. Admitindo três sistemas de equipamentos utilizados, estabelece-se (Gasser, 2014):

- Tipo A: Informar e avisar;
- Tipo B: Funções automáticas contínuas;
- Tipo C: Funções de intervenção de emergência.

O Tipo A tem apenas influência indireta no controlo do veículo através do condutor. Exemplos correntes deste tipo de mecanismo incluem alguns sistemas dentro da vasta tecnologia ADAS - *Advanced Driver-Assistance Systems* – tais como os *Road Sign Recognition System* (ou *Traffic Sign Recognition*). Estes últimos fornecem várias indicações e alertas úteis ao utilizador. Normalmente são identificados os sinais relativos aos limites de velocidades, passagens de peões, sentidos obrigatórios, etc. Os sinais de trânsito podem ser analisados com a ajuda de câmaras incorporadas nos veículos e informação derivada do GPS.

Faz-se ainda referência ao *Lane Departure Warning System* (LDWS) cuja função é um alerta de mudança inadvertida de via. Estes avisos podem ser visuais, sonoros e/ou vibrações e

ocorrem quando se transpõe uma guia, sem indicação prévia. Entre outras situações, são ainda especialmente importantes em caso de sonolência durante viagens longas.

O Tipo B assume controlo imediato sobre o veículo, existindo uma clara divisão de tarefas entre o condutor e o sistema de automação. Os sistemas ACC (*Adaptive Cruise Control*) são um exemplo deste tipo de tecnologia. O sistema utiliza um sensor do tipo LIDAR para medir a distância em relação ao veículo da frente e controlar a velocidade, garantindo que o veículo mantém a velocidade programada. O condutor é “avisado” automaticamente no caso da sua intervenção ser necessária para travar o veículo. Os sistemas LAS (*Lane-keep Assist System*) complementam o LDWS, referido no tipo A. Detetando o desvio do veículo para a via de circulação adjacente, o sistema emite um aviso sonoro e, de seguida, corrige automaticamente a trajetória, para que continue a circular em frente em segurança.

Finalmente os sistemas Tipo C são destinados a situações de pré-acidente. Atualmente existe o AEB (*Autonomous Emergency Brake*), sistema ativo de segurança que combinado com o ABS (*Anti-lock Breaking System*), permite que, de forma autónoma, o automóvel reduza a velocidade assim que o sistema detetar risco de colisão, sem necessitar de intervenção do condutor. Este sistema é muitas vezes combinado com o ACC acima mencionado, alertando quando existe desvio da via e começa a travar se não houver resposta da parte do condutor.

Em caso de colisão inevitável existe o sistema ACN (*Automatic Collision Notification*), que permite uma assistência ao local mais eficiente e imediata.

A SAE (*Society of Automobile Engineers*) definiu 5 níveis de condução autónoma que se encontram resumidos na Tabela 2.1, os níveis de 0 a 4 requerem um condutor habilitado com carta de condução, enquanto o nível 5 permite condução sem condutor.

No nível 0, o desempenho é na íntegra da responsabilidade do condutor em todos os atos da condução. Ainda que complementado com sistemas de alerta. Este nível retrata o que nesta dissertação se designou como Veículos Tradicionais.

Já no nível 1, a condução é feita com a ajuda de um sistema de assistência ao condutor em termos de direção ou aceleração/desaceleração, usando informação acerca da envolvente e com as expectativas do condutor inalteradas. Existe uma clara correspondência entre este nível definido pela SAE e o Tipo A, analisado anteriormente por Gasser (2014) no qual apenas se utilizam algumas funções do sistema ADAS.

O nível 2 pressupõe que a condução seja feita com um ou mais sistemas de assistência de condução, nomeadamente direção e aceleração/desaceleração usando informação acerca da envolvente e com as expectativas do condutor igualmente inalteradas. Apesar de o veículo poder atuar autonomamente sobre algumas partes da condução, tais como estacionamento automático ou ajuda em manter o veículo na via correta, o controlo permanece no condutor.

Tabela 2.1 Níveis de automação na condução segundo a SAE.

Nível SAE	Nome	Condução: direção, aceleração/desaceleração	Monitorização da envolvente	Contingência do desempenho das funções de condução dinâmica	Capacidades do sistema (meios de condução)	Exemplo
O condutor monitoriza o meio envolvente						
0	Sem automação	Condutor	Condutor	Condutor	N/a	-
1	Assistência ao condutor	Condutor e Sistema	Condutor	Condutor	Alguns meios de condução	Qualquer modelo com ACC, ou LAS
2	Automação parcial	Sistema	Condutor	Condutor	Alguns meios de condução	Tesla Autopilot, Volvo Pilot Assist, Mercedes-Benz Drive Pilot e DISTRONIC PLUS, GM Super Cruise, Nissan ProPilot Assist
Sistema de condução automático que monitoriza o meio envolvente						
3	Automação condicionada	Sistema	Sistema	Condutor	Alguns meios de condução	Audi A8 ¹ ,
4	Alta automação	Sistema	Sistema	Sistema	Alguns meios de condução	Google Waymo; Mercedes Classe S; Freightliner Inspiration Truck – Daimler; Renault EZ e SYMBIOZ Toyota Platform 3.0. ²
5	Automação total	Sistema	Sistema	Sistema	Todos meios de condução	-

¹ Disponível no mercado em 2019.

² Todos os veículos nível 4 são *Concept Cars* (ainda em fase de testes).

O nível 3 corresponde ao grau inferior de VAs propriamente ditos. Aqui a execução do modo de condução é concretizada por um sistema automático em todos os aspetos sem, no entanto, prescindir da intervenção do condutor quando necessária. O veículo tem capacidade para analisar o meio envolvente e tomar decisões relativas à ultrapassagem de veículos mais lentos. É, no entanto, mais aconselhado para autoestradas, sendo necessária a condução manual em meios complexos, tais como meios urbanos. Este nível de automação requer *softwares* sofisticados e tecnologia de sensores avançada. A Google alcançou este patamar em 2012 com veículos de teste. Porém, chegou à conclusão de que existe um excesso de confiança por parte dos condutores, o que resulta, conseqüentemente, em falta de atenção e demora em responder quando necessária a sua intervenção (Hyatt et al. 2018).

O nível 4 implica a execução da condução por um sistema automático em todos os aspetos. Não obstante, o controlo do veículo poder ser totalmente retomado manualmente para certos meios de condução mais complexos, pelo que se pode dizer que se trata de um VA com limitações. É neste nível que se enquadra o panorama atual da maioria das marcas fabricantes, as quais investiram na tecnologia da condução autónoma. A Google e a GM, por exemplo, dispõem de veículos a circular em determinadas estradas para testes. Estes VA estão dependentes de mapas detalhados, pelo que estão limitados a espaços onde exista informação previamente testada.

Finalmente, o nível 5 refere-se a veículos totalmente autónomos cujo desempenho depende de um sistema de condução automática em todos os aspetos da condução e em todos os ambientes rodoviários que possam ser utilizados pelo condutor. Esta categoria pressupõe a inexistência de uma interface que permita ao condutor de intervir, pelo que o veículo não estará equipado de volante ou pedais. Atualmente ainda só existem protótipos.

Os sistemas autónomos correspondem a um conjunto de sensores que equipam o VA. A Figura 2.1 representa esquematicamente o exemplo da fabricante GM.

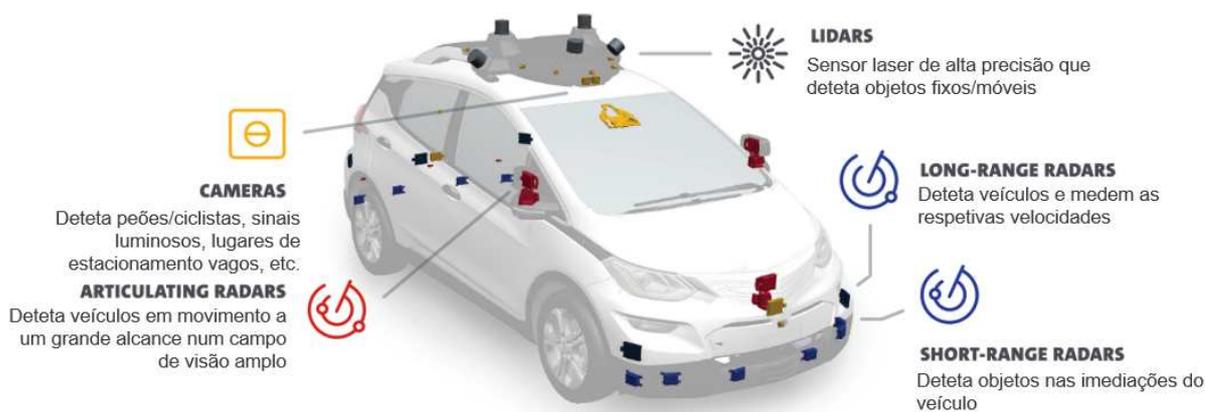


Figura 2.1 - Funcionamento do VA da GM Cruise. Adaptado de (General Motors Inc., 2018).

Os sistemas geralmente utilizados são as câmaras de vídeo, radar de ondas milimétricas ou radares de laser (LIDAR), em complemento com sensores de deteção ultrassónica para detetar

imprevistos a curta distância. Cada tipo de sensor tem vantagens e desvantagens, sendo que nenhum sistema consegue garantir eficiência por si só.

2.3 Modalidades de Transportes de VAs.

Dentro da automação total, os veículos podem ser individuais ou compartilhados. Cada modo apresenta vantagens e desvantagens para os utilizadores e para a sociedade. Litman (2018) realça os pontos principais para cada modo: os veículos individuais próprios (pertencentes exclusivamente ao utilizador) são uma boa opção em termos de conveniência, já que estão disponíveis sem esperas e artigos pessoais podem ser deixados no interior do veículo. As desvantagens são claramente os custos associados à sua aquisição, manutenção e operação. Constitui igualmente limitação o facto de não se poder ter outro tipo de veículo que se adapte às diferentes viagens e necessidades. O autor acrescenta (Litman, 2018) que este modelo de utilização de VA é apropriado para utilizadores que viajam com frequência, habitem em zonas mais afastadas do meio urbano e necessitam de deixar haveres no veículo.

Sem uma política de transportes adequada Watkins (2018) alerta para um impacto negativo no trânsito, no caso de um cenário envolvendo maioritariamente veículos individuais próprios: os investigadores Fagnant e Kockelman (2015) apontam para um aumento do número de quilómetros percorridos com viagens em vazio (o VA poderá estacionar autonomamente mais afastado do centro da cidade), mas também com a possibilidade de alargar a circulação à população sem carta de condução. Acrescentam ainda que esta questão poderá trazer problemas adicionais, tais como o aumento de emissões associado a um maior consumo de combustível, caso não seja feita uma total transferência para um modo elétrico e sustentável. Não obstante, Gucwa (2014) observa que a valorização do tempo pessoal despendido em viagens será superior devido a ganhos em produtividade que poderá ser aproveitada ao invés de tempo dedicado à condução manual.

Os VA partilhados, tais como táxis sem condutor, apresentam um serviço porta-a-porta em que os utilizadores podem escolher o modelo de veículo mais apropriado para a sua viagem e necessidades especiais. No entanto, em termos de disponibilidade podem implicar tempo de espera. Também se colocam problemas de segurança e de higiene, visto que não dispõem de condutor que supervisione a viagem. Este serviço é adequado para utilizações pontuais. Atualmente a Uber encontra-se a desenvolver um serviço de mobilidade no sentido de substituir todos os veículos tradicionais por uma frota de VAs. Alguns especialistas apontam para uma redução significativa nos espaços dedicados a estacionamento até 90% graças ao sistema de partilha de veículos (Fagnant e Kockelman, 2014).

Tournier (2017) considera a existência de benefícios, em termos ambientais e de melhoria da mobilidade, na redução do número de veículos individuais. Assim, os principais fabricantes de automóveis têm vindo a criar parcerias com empresas de *car-sharing*, ponderando todos os

aspectos associados aos vários modelos de mobilidade, nomeadamente a fiabilidade, eficiência energética, facilidade de utilização e principalmente benefícios financeiros.

O sistema de *car-sharing*, que já se encontra há mais tempo enraizado na maioria dos países, é o modelo “estacionário”. Este modo de partilha implica que o utilizador levante e entregue o veículo numa estação de aluguer fixa. O modelo estacionário não permite dotar o sistema da flexibilidade desejada e implica custos elevados para a empresa responsável, tais como a renda da estação de alugueres, requisição de espaços de estacionamento e pessoal efetivo. Estes custos refletem-se, consequentemente, no custo para o cliente.

O modelo *Peer-to-peer* (P2P) oferece uma redução de custos já que a frota de veículos consiste, geralmente, em veículos privados cujos proprietários estão dispostos a alugá-los nos períodos de tempo em que não os estão a utilizar. Este sistema não exige um sítio específico de entrega do veículo, o que permite uma maior flexibilidade. Os avanços tecnológicos no sector da comunicação permitem uma ligação eficiente entre o cliente, o veículo e a plataforma de gestão do sistema. Os veículos estão equipados com GPS, possibilitando o utilizador de verificar qual o veículo mais próximo e ir levantá-lo. A entrega pode ser feita no mesmo sítio ou noutra local a combinar com o proprietário.

Existe um sistema que permite uma flexibilidade superior – o modelo *Free-Floating*. Este sistema funciona de forma semelhante ao P2P, com a diferença que o utilizador pode levantar e deixar o veículo onde lhe for mais conveniente. O veículo dispõe de sistemas de localização e comunicação, o que exige uma rede de conexão infalível de forma permanente.

Segundo a Global Market Insights, os maiores investidores no sector do *car-sharing* incluem empresas de *car-sharing* (Hertz Corporation, Autolib, Car2Go, DriveNow, Getaround, Orix Corporation e Zipcar), companhias de sistemas de conectividade de *hardware*, plataformas de mobilidade, proprietários privados de veículos e consumidores finais (Global Market Insights, 2018). Em 2016, a Toyota Motor Corporation anunciou a sua associação à Getaround proporcionando serviços P2P e a BMW lançou o serviço DriveNow.

A Global Market Corporation indica a Alemanha como líder na área de *car-sharing* na Europa e espera-se ainda um crescimento deste serviço devido ao aumento das taxas e custos de propriedade de veículo. O país está dotado de uma associação de *car-sharing* – Bundesverband CarSharing (BCS) – que representa os interesses estratégicos desta indústria. Esta coletividade engloba 140 serviços, mas as novas plataformas “Car2go” (Daimler AG), DriveNow (BMW) e Quicar (VW) não fazem parte da BCS.

Na China, em 2016, a comissão nacional de desenvolvimento e reforma estipulou normas para incentivar o desenvolvimento destes serviços no país (Global Market Insights, 2018).

A empresa Daimler apresenta-se como líder e pioneira no serviço de *car-sharing* intitulado “Car2go”, (Car2go Group GmbH, 2018). O sistema de *free-floating car-sharing* opera em 24 cidades da Europa (uma frota inteiramente elétrica), América do Norte e China. Como o usuário

pode entregar o veículo em qualquer sítio da cidade, a empresa possui alguns espaços de estacionamento reservados. Em 2018, a Car2go da Daimler AG uniu-se à DriveNow da BMW Group, combinando os seus serviços de mobilidade com o modo *free-floating car-sharing*.

Em 2017 as empresas Renault, Nissan e Mitsubishi, já associadas sob a denominada Alliance 1999, voltam a estabelecer um plano com o objetivo de se tornarem o monopólio de *car-sharing* em veículos elétricos – Alliance 2022. Segundo a Techcrunch, a Alliance 2022 planeia lançar uma frota de VAs até ao ano 2022 (Lunden, 2017).

2.4 Situação atual da tecnologia de VAs no mundo

Tendo em conta que esta tecnologia surge em vários pontos do globo, num espaço de tempo relativamente curto de inovações, a informação tende a ficar obsoleta. Faz sentido então uma breve revisão da situação atual. A classificação descrita na Figura 2.2 foi elaborada segundo um relatório da Navigant Research. A companhia Ford lidera o desenvolvimento da condução autónoma, seguida de perto pela companhia GM (*General Motors*), Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance e Daimler (Research, 2017).

O fabricante de automóveis multinacional norte-americano fundado por Henry Ford, planeia lançar veículos autónomos em 2021, dentro do plano “Ford Smart Mobility”. Para essa data, a companhia espera desenvolver um veículo equipado com tecnologia que permita uma condução desprovida de volante ou outra interface de condução manual. No entanto, o veículo só circulará dentro de áreas virtualmente delimitadas, no contexto de serviços de *ride-sharing (carpooling)* ou *ride-hailing (ex: táxi, Uber)*. Corresponderá, assim, ao nível 4.

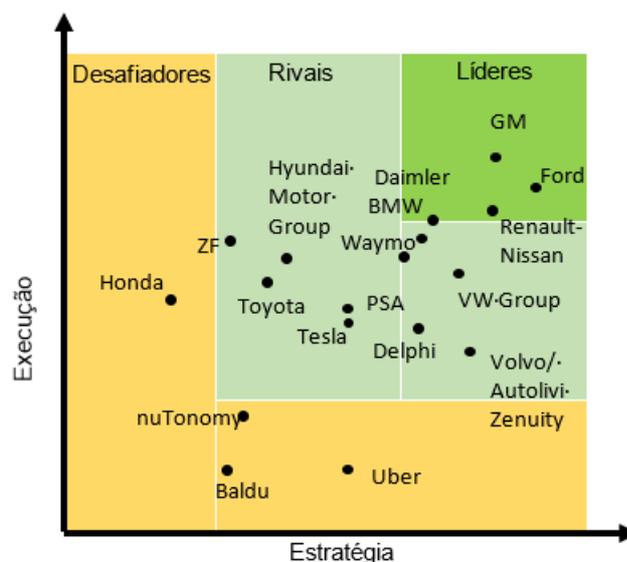


Figura 2.2 - Liderança em sistemas de automação automóvel. Adaptada de Research (2017).

A Ford iniciou os testes aos seus projetos de VAs em ambiente urbano simulado pela Universidade de Michigan. A minicidade artificial intitulada “Mcity” foi criada para investigar a adaptabilidade do veículo em condições menos propícias à condução como neve ou sem

nenhuma iluminação. Pretendem ter testado, até ao fim de 2018, uma frota de *Sedans* nas estradas da Califórnia, Arizona e Michigan, para estender o desenvolvimento tecnológico (Company, 2017).

A GM é uma multinacional dedicada à produção de automóveis, com sede em Detroit, nos Estados Unidos. Atualmente investiu numa frota de VAs de nível 4 e tem vindo a realizar testes para desenvolver o sistema de condução em meio urbano, em São Francisco, EUA. Focam-se em testar sistemas de deteção de objetos e funções de previsão e resposta em ambientes que incluem outros condutores mais agressivos/imprevisíveis, atravessamento da faixa de rodagem por peões fora da passadeira, ciclistas, camiões de entregas, locais em obras, viragens à esquerda não semaforizadas, entre outros fatores.

A GM anunciou que tenciona produzir em massa um modelo de VA nível 5 já este ano. Este será a quarta geração de VAs, elétricos Chevy Bolt e será incorporada num sistema de *ride-hailing* (Vijayenthiran, 2018).

A Daimler AG com sede em Estugarda, Alemanha, é um fabricante de automóveis de passageiros e veículos comerciais, cuja marca mais conhecida é a Mercedes-Benz. Protótipos como o Mercedes-Benz S-Class S 500 Intelligent Drive, o F015 Luxury in Motion e o Future Truck 2025 colocam o fabricante no caminho da automação da condução.

Em 2015, Daimler iniciou o “Highway Pilot” na Alemanha. Este modelo consiste numa rede inteligente de assistência e conectividade que garante a circulação dos camiões autónomos na autoestrada. Tratando-se de um sistema de nível 3, “Highway Pilot” adapta a velocidade do camião ao tráfego existente, sem, contudo, iniciar manobras mais complexas (sair da autoestrada ou trocar de via), deixadas a cargo do condutor.

A tecnologia em questão denomina-se *platooning*, “o pelotão de camiões é constituído por vários camiões em comboio. Estes veículos seguem a pouca distância uns dos outros, aproveitando o efeito aerodinâmico de uns em relação aos outros. O camião que segue na frente, isto é, o *leader* do pelotão age como líder, e os camiões que o seguem atrás vão reagindo adaptando-se às mudanças no movimento impostas pelo líder. Por exemplo, se os travões do líder do pelotão forem acionados, todos os outros camiões no pelotão comportam-se da mesma forma. Os camiões do pelotão movimentam-se a uma velocidade constante, pelo que o consumo de combustível diminui e melhoram os fluxos de tráfego, e por outro lado a curta distância entre os camiões significa menos espaço ocupado na estrada” (Manuel, 2016).

Após testar a conexão eletrónica dos camiões na Europa e nos EUA, a Daimler Trucks alia-se à marca asiática FUSO (AutomotiveSupplyChain.org, 2018). Este sistema foi testado em 2018 em duas autoestradas de Tóquio, Japão, e vai ao encontro do plano governamental japonês “Future Strategy 2017”. Este projeto visa inovar a no que toca a conectar os aparelhos e veículos usando sensores eletrónicos e a *internet*.

Estes desenvolvimentos permitiram conectar cerca de 560 mil caminhões na *Internet das coisas*, superando todos os outros fabricantes. A Daimler recorreu, para este feito, a comunicações Veículo-Veículo (V2V) via *Wi-fi*, fazendo interagir os veículos com sistemas de assistência de condução.

Ao contrário do modelo “Future Truck 2025”, lançado em 2014 e confinado a áreas muito limitadas, o nível 4 Inspiration Truck encontra-se aprovado e autorizado a conduzir de forma autônoma em autoestradas do estado de Nevada, EUA. Em 2016, Daimler colaborou na iniciativa governamental European Truck Platooning Challenge com três Mercedes-Benz Actros, semi-autônomos e eletronicamente conectados. O desenvolvimento do modelo Freightliner Inspiration Truck levou à circulação nas estradas dos estados de Nevada e Oregon de dois caminhões conectados. O FUSO Super Great é o primeiro modelo Daimler a conduzir em *platooning* com outros caminhões no Japão (Daimler AG, 2017b).

A empresa alemã BMW (Bayerische Motoren Werke AG), fabricante de automóveis, também está a investir no sector dos VAs. Correntemente, os sistemas de assistência nível 1 encontram-se implementados em todos os modelos BMW. Os sistemas para veículos nível 2 também se encontram disponíveis, contudo, para níveis 3, 4 e 5, os veículos ainda se encontram em fase de testes.

A High Tech9 descreve o primeiro veículo autônomo, elétrico, conectado e partilhado – *Renault EZ-GO*, da companhia francesa Renault. Este modelo foi desenhado para o meio urbano e prevê-se que os custos de utilização sejam mais caros do que um bilhete em transporte público urbano, sendo, no entanto, inferiores aos preços de um Uber. Também existem os modelos EZ-Ultimo e EZ-Pro, todos de nível 4, como pode ser observado na Figura 2.3.

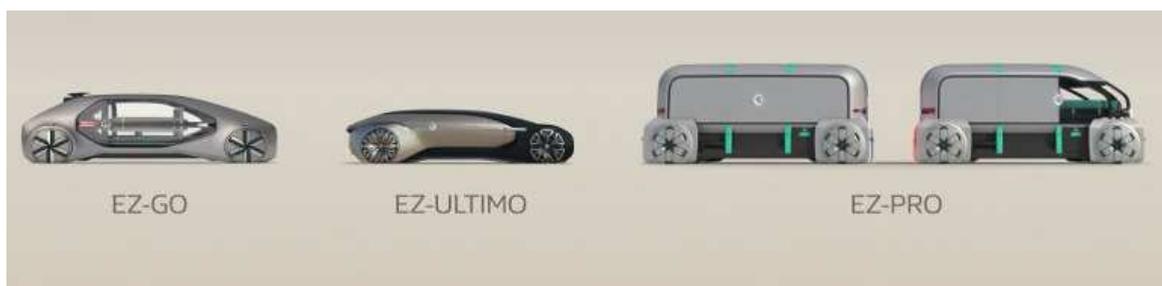


Figura 2.3– Paris Motor Show. Os Três modelos de *car-sharing* da Renault (Groupe-Renault, 2018).

Numa análise à base de dados sobre o desempenho dos testes de VA na Califórnia, as razões que levaram à interrupção do funcionamento do modo autônomo foram categorizadas (Lv *et al.*, 2018). As várias empresas a efetuar testes englobam Google, Bosh, Nissan, Mercedes-Benz, Tesla Motors, BMW, GM, Ford, Honda, etc. Assim, os motivos foram do tipo (indicando os mais relevantes):

- Falha do sistema: discrepância do *software*, mudança de vias, discrepância na percepção, deteção de sinais luminosos;

- Fatores humanos: condução imprudente dos utilizadores da rede viária, desconforto, permitir um distanciamento mais seguro em relação aos ciclistas;
- Fatores externos: má qualidade das marcações da via, zona em obras, concentração numerosa de peões, más condições atmosféricas.

De acordo com o mesmo relatório, as paragens do modo autónomo podem ainda ser classificadas em duas categorias:

- Passivas: a falha é detetada pelo sistema e o VA requer um condutor que assuma a condução. Estas podem ser falhas no *hardware* ou *software*, más condições atmosféricas, más condições do pavimento.
- Ativas: a falha não é detetada pelo sistema e o condutor, monitorizando o exterior, deteta uma situação problemática e assume a condução do veículo. Nomeadamente: limitações do *software*, falhas no *hardware*, situações de emergência ou intervenções por precaução.

2.5 O Futuro da Mobilidade Urbana - Efeitos e problemas previsíveis

As recentes evoluções na área da automação de veículos, para além dos investimentos tecnológicos dos fabricantes automóveis e do interesse que tem suscitado ao público em geral, levantaram inúmeras questões sobre como esta tecnologia afetará a sociedade e o funcionamento dos meios urbanos. É necessário estudar esta evolução no âmbito do planeamento urbano, infraestruturas de transporte, gestão de tráfego, segurança e privacidade, agências seguradoras e sistema legal e regulamentar.

Em termos de volume de tráfego, Milakis et al. (2017) estimam que a chegada dos VAs induza a um aumento de tráfego entre 3% e 27% devido a mudanças ao nível de destino de viagem (viagens mais longas), escolha modal (preferência do veículo individual ao transporte coletivo e outros meios suaves), aumento da procura (oportunidade de mobilidade independente para a população sem carta de condução, acrescidas das viagens em vazio) e tipo de utilização (VA partilhados implicariam mais viagens para servir o próximo passageiro).

Por outro lado, os VAs serão uma solução para as pessoas com mobilidade reduzida e especialmente para a população idosa que tende a ser cada vez mais significativa nos países mais desenvolvidos. Para a população que ainda não tem idade legal para tirar a carta de condução, este modo de transporte também será possível. Todos estes pontos tenderão a justificar um aumento não negligenciável da procura (Fagnant e Kockelman, 2015).

Também a situação relativa ao estacionamento poderá mudar tendo em conta que os VAs terão a possibilidade de estacionar em zonas mais remotas em relação ao centro urbano e menos onerosas o que levará a um aumento de veículos em circulação.

Uma solução recorrente para a coexistência simultânea de veículos autónomos e tradicionais é a criação de vias segregadas em autoestradas para os VAs circularem em *platooning*. Esta

sugestão de infraestrutura rodoviária levará à redução da capacidade da via para responder ao tráfego em geral, o que poderá não suscitar o consenso geral (Litman, 2018).

Em termos de custos e benefícios, o IPA (Infrastructure Partnerships Australia, 2017) e o IFMO (*Institute for Mobility Research*) (Trommer *et al.*, 2016) apontam para as vantagens em termos de melhoria da inserção na sociedade das populações envelhecidas e acrescenta as oportunidades de mercado que poderão surgir daqui. Para além disso, prevêem que o êxodo rural continue a aumentar, tornando as áreas urbanas tendencialmente mais densas.

O ITF (OECD - International Transport Forum, 2015) salienta que os veículos são, neste momento, recursos subutilizados. Maioritariamente ativos nas horas de ponta e raramente mais de 10% do dia. Muita da sua capacidade também está subvalorizada já que a ocupação típica em cada viagem é de apenas um ocupante. Neste contexto, os VA desde que partilhados, tornar-se-ão uma mais-valia para a sociedade.

Por fim, importa analisar a possibilidade de transportes públicos não tripulados, os quais apresentam vantagens, designadamente em termos de custos. Em Portugal observa-se um interesse crescente sobre este assunto, estando atualmente em estudo a introdução de uma linha de transporte público elétrico, não tripulado na cidade de Viseu Figura 2.4, perspetivando-se a sua entrada ao serviço em 2019. Sob a responsabilidade da empresa Tula Labs, o sistema previsto para Viseu, virá substituir o obsoleto funicular que opera na zona histórica (Ferreira, 2018). Refira-se que já em 2010 o Hospital Rovisco Pais, na Tocha passou a dispor de um VA (desenvolvido pela empresa Critical Move) que opera dentro do perímetro hospitalar, em via dedicada e com prioridade absoluta (Lusa, 2010).

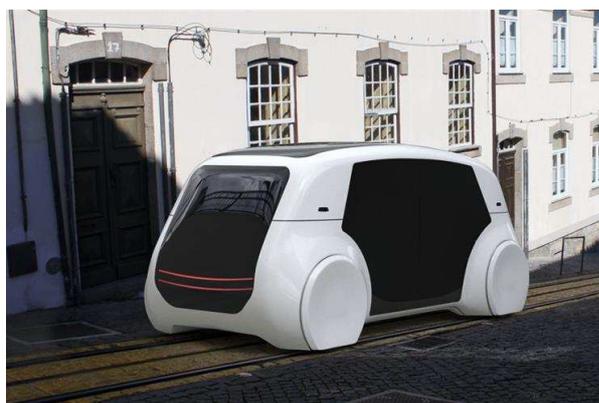


Figura 2.4 Funicular autónomo de Viseu. Fonte: (Ferreira, 2018).

Litman (2018) explica que os equipamentos requeridos implicam custos acrescidos em comparação com os veículos tradicionais, nomeadamente: instalação de sensores (óticos, radares, lidars, etc.), controlos automáticos (direção, travagem, sinalização, etc.), *software* e fontes de alimentação de energia, sistemas de GPS com mapas de alta qualidade, redes de conexão *wireless* (*short-range* para comunicação V2V e *long-range* para aceder a mapas, atualizações de *software* e de situação da estrada) e finalmente a componente de testes e manutenção essencial.

A Figura 2.5 evidencia que, no futuro, o custo de aquisição de um veículo autónomo pessoal continuará a ser mais caro do que um veículo tradicional. No entanto, os veículos autónomos partilhados serão mais baratos do que os serviços de táxi e *car-sharing* com condução manual. Espera-se que a grande oferta de veículos partilhados funcione como um incentivo à redução de compra de veículo privado.

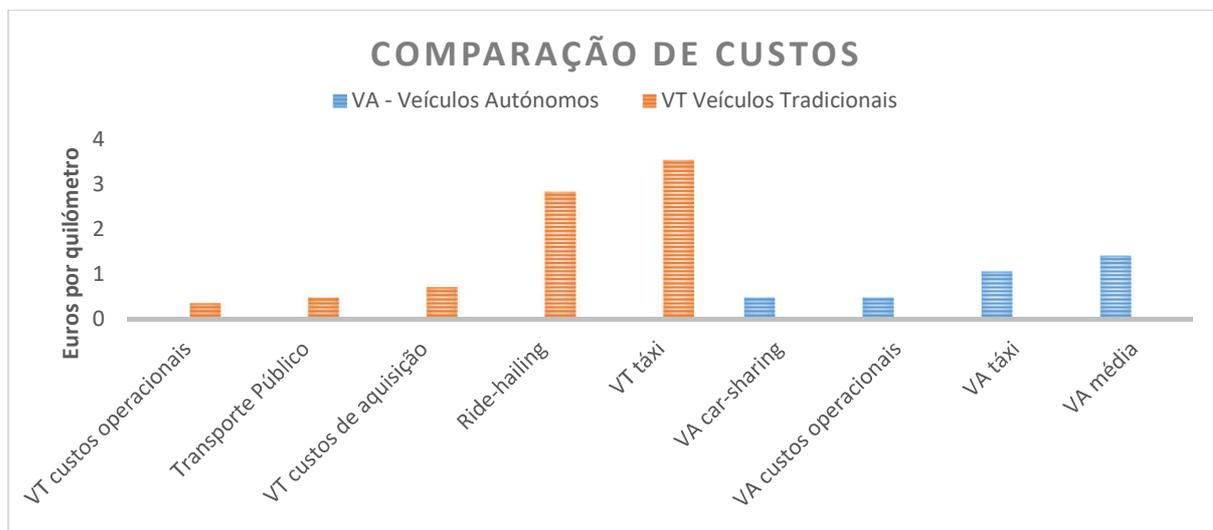


Figura 2.5 - Comparação de custos Adaptado de Litman (2018).

Em termos de segurança rodoviária, a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2015) indica que os fatores que mais influenciam a ocorrência de acidentes, dentro dos veículos tradicionais, são o excesso de velocidade, condução sob a influência de álcool ou outras substâncias psicoativas, a não utilização de cinto de segurança, distração ao volante e infraestruturas e veículos que não cumpram os parâmetros de segurança/manutenção adequados. Posto isto, pode concluir-se que a generalidade dos acidentes rodoviários tem origem humana, situação que seria mitigada com a implementação dos VAs.

Arbib e Seba (2017) salientam o facto de este nível de segurança aumentar com o tempo, mesmo após a implementação dos VAs. Esta melhoria deve-se à capacidade de “aprendizagem” dos *softwares*, por exemplo, se um veículo isolado evitar um acidente, a solução é gravada e partilhada com todos os outros veículos. Esta tecnologia denomina-se *Machine Learning*.

O relatório de Arbib e Seba prossegue na área das seguradoras prevendo que as empresas se irão basear em dados em tempo-real ao invés de tabelas demográficas. Esta evolução poderá ter um impacto negativo nos condutores de veículos tradicionais esperando-se um aumento dos custos dos seguros destes. Este aumento é explicado pela previsível disparidade de riscos entre veículos tradicionais e autónomos, podendo o primeiro ser encarado como um risco adicional. Importa, contudo, ter noção que, face a uma frota integral de VAs os acidentes tenderão a alterar de tipologia, sendo expectável que na sua maioria resultem de falhas de sistemas (*software* ou *hardware*) ou de programação/algoritmos não testados para situações raras.

Para além dos benefícios imediatos em termos de percentagem do PIB que se espera ser poupado com a redução dos acidentes rodoviários, a melhoria da segurança também fará baixar os custos de fabrico dos veículos. Ao contrário do que acontece até agora, os veículos do futuro não serão obrigados a ser produzidos com uma grande capacidade de sobreviver a acidentes, desta forma reduzir-se-á o peso do veículo, o custo e o consumo inerente (Arbib e Seba, 2017).

Estas previsões não contemplam os fatores de risco associados ao desenvolvimento da tecnologia automóvel, nomeadamente: falha de *hardware* ou *software*, *hacking* malicioso e riscos associados ao *platoonig*.

A evolução tecnológica da conectividade resultou num aumento da capacidade de recolher e processar informação de forma sistemática e contínua, com o propósito de possibilitar aos fabricantes de automóveis, a produção de serviços personalizados e mais adaptados às necessidades dos utilizadores. No entanto, Markey (2015) alerta para a possibilidade de essa capacidade de recolha de dados vir a ser usada para fins menos nobres. Em particular, sistemas *wireless* são vulneráveis a ataques informáticos que possam invadir a privacidade do utilizador ou modificar a operação do veículo.

Relativamente à evolução da tecnologia dos VA, um inquérito envolvendo mais de 30 cidades, destaca os principais entraves à evolução desta tecnologia (Bloomberg Philanthropies e The Aspen Institute, 2017). Torna-se evidente que os poucos apoios financeiros e a desatualização da legislação são as barreiras mais difíceis de superar.

Devido à elevada complexidade que exige a circulação de um VA em meio urbano, a tecnologia associada requer custos acrescidos que permitam fomentar o desenvolvimento de investigação (Litman, 2018). O mesmo autor explica que as interações entre o veículo e o meio envolvente, nomeadamente objetos, peões, ciclistas e outros veículos, muitas vezes imprevisíveis, justifica a disparidade na complexidade entre o *software* de um VA e de um avião. Assim, apesar do avanço tecnológico na última década, ainda é necessário ultrapassar alguns obstáculos e percorrer um longo caminho até que o nível 5 seja alcançado em segurança.

Como foi explicado, é esperado que o *software* evolua memorizando e partilhando todos os acontecimentos e conjugá-las com situações imprevistas. Este processo requer, mais uma vez, um *software* muito desenvolvido e com o aumento da complexidade também aumenta o risco de falha de sistema.

Espera-se que mesmo após se ter atingido o nível 5 de automação ainda seja necessário tempo adicional para a realização de testes e aprovação de regulamentação adaptada. Litman (2018) explica que esta fase de aprovação se revela superior a outros tipos de inovações tecnológicas como o computador portátil ou o telemóvel, já que os veículos impõem custos externos muito superiores, incluindo riscos de acidentes e atrasos para outros veículos da estrada. Para além das dificuldades enunciadas, é necessário ter em conta o alto custo e durabilidade de um veículo, assim é seguro admitir que os consumidores não vão, maioritariamente, vender imediatamente o seu veículo atual em bom estado com o propósito de adquirir uma tecnologia mais recente.

A IPA (Infrastructure Partnerships Australia, 2017) realça o facto de as regulações rodoviárias estarem inteiramente voltadas para a condução tradicional e as ações do condutor enquanto que o futuro da mobilidade aponta para uma mudança de visão. Assim é espectável que, independentemente do nível de VA introduzido nas redes viárias, será requerido algum tipo de investimento na infraestrutura atual. A problemática da segurança e a adaptação da regulamentação adaptada ainda antevê um longo percurso.

3 VEÍCULOS AUTÓNOMOS CONETADOS

3.1 Enquadramento

Após categorizar e caracterizar o VA importa avaliar o desempenho do mesmo, inserido na rede viária. Para que a circulação de VAs seja possível é necessária uma tecnologia com a capacidade de perceção do meio envolvente, tal como o ser humano, e de reagir e tomar decisões face a imprevistos.

Numa primeira fase deste capítulo, são abordadas as tipologias de comunicação/interação inerentes aos veículos autónomos, expondo as vantagens e desvantagens de cada uma. Após a abordagem a nível tecnológico e prático desta integração dos veículos autónomos na circulação rodoviária, este capítulo trata ainda de forma resumida, a vertente regulamentar e legislativa, referindo a situação atual no mundo.

A perceção circundante consiste, essencialmente, em conseguir ler a estrada, reconhecer todos os utilizadores da mesma e orientar-se em qualquer situação. Contudo, os investigadores Shladover e Bishop (2015) alertam que um grande desafio da perceção é assegurar que o veículo consiga detetar e identificar casualidades que possam ter um impacto negativo na segurança e, deste modo, tomar uma decisão evasiva com antecedência suficiente. Ao mesmo tempo, pretende-se que o veículo evite identificar falsos positivos.

3.2 Tipologias de V2X

Resumindo as capacidades dos sensores de um VA em categorias, obtém-se (Van Brummelen *et al.*, 2018):

- *Self-sensing* – os sensores avaliam a velocidade praticada, aceleração, direção, etc. Esta informação é conseguida através de odómetros, unidades de medição inercial, giroscópios e informação da rede CAN (*Controller Area Network*);
- Localização – através de sensores externos ao veículo tais como GPS ou leitores IMU (Unidade de Medida Inercial), a localização global e local do veículo é detetada;
- Perceção circundante – através de sensores exteroceivos, o veículo é capaz de identificar as marcações viárias, inclinação longitudinal, sinais de trânsito, condições atmosféricas, o estado (posição, velocidade, aceleração, etc.) de obstáculos incluindo outros veículos, e até o estado do condutor (atenção, cansaço, etc.).

As novas tecnologias no sector do automóvel têm evoluído no sentido de aumentar a segurança da condução e o desempenho do veículo. O senador Markey, (2015), indica uma tendência para a conectividade entre veículos através de sistemas eletrónicos de navegação, *infotainment* (entretenimento informativo) e ferramentas de monitorização da segurança.

Assim, a interação entre vários tipos de tecnologia permitirá à primeira geração de VAs circular na via pública sem o controlo de condutores. Islam *et al* (2018) explicam que a evolução tecnológica dos sistemas ADAS ingressou num caminho onde os veículos de condução tradicional poderão comunicar entre si – V2V, com certos elementos da infraestrutura viária – V2I, ou com determinados aparelhos móveis (por exemplo, o telemóvel) – V2D. Este último pode ser utilizado por pedestres ou via *cloud*. Estes sistemas podem incluir dispositivos colocados ao longo da estrada (RoadSide Unit – RSU) e funcionam com base em ondas DSRC-*Dedicated Short-Range Communication*. A Figura 3.1 exemplifica os vários tipos de interações possíveis.

Comunicações V2I podem fornecer aos VAs uma rede de conexão para interseções, sinais de trânsito e sinalética de obras, transferindo informações relevantes acerca da infraestrutura, tais como mudanças no traçado geral, limites de velocidade e fases dos sinais luminosos. Da mesma forma, comunicações V2V permitem aos veículos trocar informações sobre a localização ou intenção de mudar de via. Integrando comunicações V2I e V2V com a tecnologia dos VA, consegue-se estabelecer uma rede de condução cooperativa eficiente (Van Brummelen *et al.*, 2018).

Charles Johnson (Johnson, 2017) explica que estes sistemas podem funcionar com base em tecnologias *wireless* e fornecem informação sobre diversos aspetos ligados à estrada e sua envolvente.

Em 2016, foi realizado um teste de VAs conectados em determinadas vias públicas de Singapura (Land Transport Authority SG, 2015), (JTC Corporation, 2019). Para tal, instalaram-se *beacons*³ em várias interseções. A tecnologia em questão poderá vir a substituir os atuais semáforos, no entanto, os veículos tradicionais que já se encontram em circulação terão de perceber e interpretar corretamente as regras procedimentais impostas pela sinalização local.

Assim, as interações V2I pressupõem um desenho adaptado e regulação das interseções de maneira a tornar a circulação dos VAs eficiente. A IPA (Infrastructure Partnerships Australia, 2017) salienta a Audi como sendo o primeiro fabricante a incluir V2I nos seus modelos Audi A4, Q7 e All-Roads. Na aproximação de cruzamentos semaforizados, o condutor era informado com o tempo remanescente da fase.

³ O *Beacon* é um pequeno dispositivo que utiliza uma tecnologia chamada *Bluetooth Low Energy* (BLE), que emite um sinal intermitente de ondas de rádio que consegue localizar *smartphones* até um determinado raio. BLE tem a vantagem de consumir menos energia do dispositivo que o *Bluetooth* comum. Além disso, como as ondas emitidas são de rádio, o alcance e a penetração nas estruturas, como betão, é maior. (Carneiro, 2016).

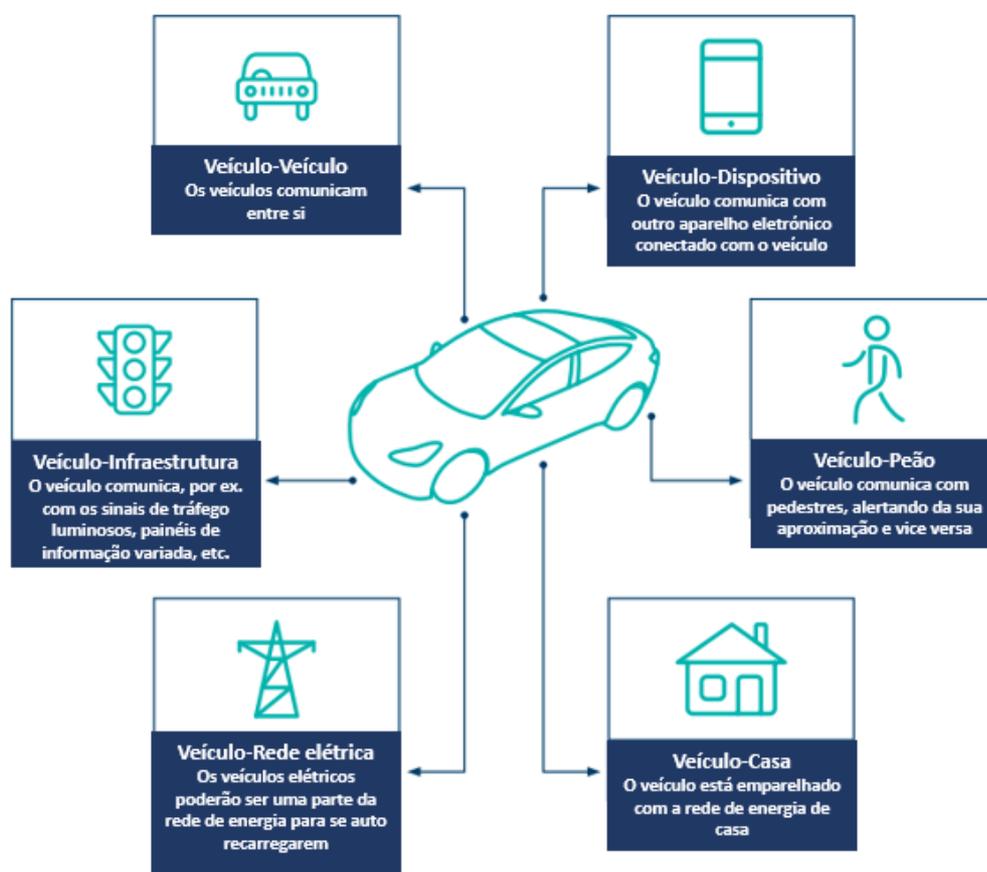


Figura 3.1 Comunicações V2X. Adaptado de Infrastructure Partnerships Australia, (2017).

Outros tipos de sistemas de comunicação encontram-se também em fase de teste na cidade fictícia Mcity, onde foi instalada uma rede de fibra ótica. Apesar de apresentar uma maior fiabilidade de ligação, os custos associados são extremamente elevados, o que limitaria a sua utilização em áreas muito específicas de centros urbanos.

Tal conectividade apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente na questão da prevenção da sinistralidade. Tratando-se de uma medida ativa, espera-se que o condutor do veículo seja alertado caso, por exemplo, um segundo automobilista desrespeite um sinal vermelho, permitindo evitar que o acidente ocorra, ao invés de mitigar as suas consequências (*airbag*, cintos de segurança, etc.). Assim, a funcionalidade do veículo, a segurança e a privacidade dependem das funções dos sistemas computacionais incorporados no veículo. Para além de comunicarem entre si, Markey (2015) refere que estes sistemas permitem gravar e armazenar os dados do veículo para posterior análise e melhoria do seu desempenho.

A Tabela 3.1 pretende comparar as diferentes tecnologias envolvidas nos sistemas de sensores dos VA e evidenciar os benefícios da conectividade.

Tabela 3.1 Comparação de tecnologias. Adaptado de International Transport Forum (2018)

	Ser Humano	Veículo Autónomo			Veículo Conectado	Veículo Autónomo Conectado
	Visão humana	Radar	Lidar	Câmara	DSRC	Radar + Lidar+ Câmara + DSCRC
Deteção de objetos	Bom	Bom	Bom	Razoável	n/a	Bom
Classificação dos objetos detetados	Bom	Mau	Razoável	Bom	n/a	Bom
Estimativa de distâncias	Razoável	Bom	Bom	Razoável	Bom	Bom
<i>Edge detection</i>	Bom	Mau	Bom	Bom	n/a	Bom
Deteção de vias	Bom	Mau	Mau	Bom	n/a	Bom
Campo de visão	Bom	Bom	Razoável	Razoável	Bom	Bom
Desempenho com más condições climáticas	Razoável	Bom	Razoável	Mau	Bom	Bom
Desempenho com más condições de iluminação	Mau	Bom	Bom	Razoável	n/a	Bom
Capacidade de comunicação com os veículos ou infraestrutura	Mau	n/a	n/a	n/a	Bom	Bom

O Departamento de Transportes dos EUA com o seu Programa de Veículos Conectados refere uma vantagem adicional para este tipo de ITS (*Intelligent Transportation System*): a redução do tempo de viagem (USDOT, 2015). Esta diminuição terá impactes diretos em termos ambientais, resultante da diminuição do consumo de combustível e consequentemente na redução das emissões. Os engenheiros de tráfego esperam também um controlo do fluxo de tráfego facilitado, prevenindo e limitando congestionamentos. Contudo, como visto atrás, esta questão não é consensual, havendo autores que defendem a tendência de aumento dos fluxos de tráfego.

Relativamente aos veículos autónomos conectados (VACs) a situação encontra-se igualmente em franco desenvolvimento nos EUA (Johnson, 2017).

3.3 Situação atual da legislação e regulação de VAs no mundo

Apesar do auge do desenvolvimento dos VAs se centrar essencialmente na questão tecnológica, a questão política e legislativa não pode ser menosprezada. O jornalista de *A Medium Corporation* defende que sem a aprovação governamental os testes de VAs em estradas públicas são genericamente ilegais (Peng, 2015).

Tendo em conta as questões essenciais que sustentam o caminho para a automação total: Política e legislação, Tecnologia e inovação, Infraestrutura e finalmente a Aceitação do consumidor; a KPMG coloca a Holanda em primeiro lugar, seguida por Singapura, EUA, Suécia, Inglaterra e Alemanha (KPMG International, 2018).

A Holanda é um país dotado de uma rede viária que oferece excelentes condições em termos de manutenção e densidade de postos de abastecimento elétrico. O país é também provido de uma rede *wireless* de grande qualidade. Do ponto de vista legislativo destaca-se igualmente na aprovação, em 2017 de testes em VAs, assim como o investimento governamental nos sinais de regulação de trânsito luminosos para permitir a comunicação destes com os veículos autónomos.

Por sua vez, Singapura lidera nos pilares respeitantes à política e legislação e à aceitação do consumidor. Destaca-se a entidade única coordenadora da questão dos veículos autónomos – *Singapore Autonomous Vehicle Initiative*.

Inquéritos, reunidos pela KPMG sugerem que os habitantes da cidade-estado se encontram abertos à introdução de condução autónoma, pelo que Singapura poderá vir a ser o primeiro país a receber a condução automática (KPMG International, 2018). Tendo em conta que esta cidade-estado dispõe da terceira maior densidade populacional do mundo, existe uma grande pressão para reformar o sistema de transportes. Em julho de 2015, a Autoridade de Transportes Terrestres (conselho estatutário do Ministério dos Transportes do governo de Singapura) autorizou 6 quilómetros de estradas para testes, aumentando este número para 55, em 2017.

Os EUA são os primeiros no sector da inovação da tecnologia para VAs. É o país com maior número de empresas dedicadas a este sector, seguida pela Alemanha. Em termos de infraestruturas, os EUA situam-se num patamar abaixo dos Países Baixos.

O jornal Público avança que “Em 2018, 50 empresas já têm autorização para testar a tecnologia no estado americano, mas a nova regra apenas se aplica às que tenham tecnologia para controlar o veículo à distância, de forma semelhante a um *drone*” (Pequenino, 2018). Em março de 2018 o estado de Arizona aprovou a circulação de 600 veículos sem condutor nas ruas públicas da região.

Existem atualmente três cidades fictícias no país onde podem decorrer simulações de circulação em meio urbano. Tal como anteriormente referido, a empresa Ford foi a primeira a testar os seus veículos na chamada Mcity (Figura 3.2), a cidade-teste construída pela Universidade de Michigan em 2015, com cerca de 13 hectares e investimentos de empresas como a Nissan, Toyota, Ford, GM, Honda, State Farm, Verizon e Xerox (Moore, 2015). A Google também construiu a sua própria cidade-teste – Castle – ocupando 37 hectares na Califórnia. Aqui é testado o modelo Waymo em diferentes situações, num modelo à escala real. Antes disso as simulações eram realizadas virtualmente no *software* Carcraft onde 25.000 veículos virtuais percorriam cerca de 12 milhões de quilómetros por dia (Madrigal, 2017). Mais recentemente, em 2017, a Uber criou a Almono, uma cidade fantasma com 17 hectares de área, em Petersburgo, Pensilvânia (Muio, 2017).



Figura 3.2 Fachadas de Mcity (Austin Thomason / Universidade do Michigan).

A Suécia, apresentando um grau de desenvolvimento similar aos EUA, dispõe de um mercado propício à introdução dos VAs em circulação. É o segundo país com uma maior rede de *car-share* composta por veículos elétricos. A Autoridade de Transportes Terrestres sueca pode, desde 2017, autorizar e supervisionar testes de VAs (Bloomberg Philanthropies e The Aspen Institute, 2017).

Em dezembro 2018, a Volvo lançou o projeto Drive Me que proporciona VAs a um determinado número de pessoas em Gothenburg para uso diário (Volvo Car Group, 2017).

O Reino Unido apresenta uma vantagem em relação à maioria dos países europeus aderentes à Convenção de Viena, pois acredita-se que poderão moldar a sua legislação em torno dos VAs mais livremente. O governo pretende introduzir este tipo de condução nas suas estradas até 2021. Em 2013, o Departamento de Transportes autorizou veículos semi-autônomos a circularem em zonas rurais, em 2015 emitiu um regulamento oficial estabelecendo um “Código de Conduta”, sendo este atualizado em 2018, permitindo agora um controlo remoto do VA em caso de falha (Gov.uk, 2019).

A Alemanha tornou-se também um país atrativo para as empresas que desejam testar os seus protótipos de veículos autônomos, fruto de uma lei, desde maio de 2017, que autoriza o uso de

estradas públicas para a realização de ensaios. Não obstante, o nível de teste é aquele que permite ao condutor retomar uma condução manual caso seja necessária (nível 4, SAE). É também requerida uma caixa negra em todos os veículos para efeitos de monitorização e acompanhamento legal em caso de acidente.

Segundo *A Medium Corporation* (Peng, 2015), em termos de investimento governamental nesta área, a Coreia do Sul é o país que mais se destaca. O governo autorizou veículos com a devida licença a circularem nas suas estradas públicas num total de 320 quilómetros. Encontra-se correntemente em construção uma cidade artificial, à semelhança da Mcity, Alamo e Castle, a denominada K-City a qual se tornará no maior modelo disponível a nível mundial, construído para testar a circulação de veículos autónomos.

Portugal faz parte da Convenção de Viena sobre Trânsito Viário que estipula, desde 1968, ser obrigatória a presença de um condutor que assuma o controlo do veículo e, em caso de conflito, assuma responsabilidades sobre o comportamento do veículo em todas as instâncias. Em 2016 foram feitas alterações a esta convenção no sentido de permitir testes de VAs, desde que estes cumpram os requisitos estabelecidos pela ONU ou possam ser controlados por condutores (Mota, 2016). Outra alteração de incentivo à tecnologia autónoma passou por suprimir a limitação de velocidade de 10 km/h (UNECE, 2016).

Portugal e Espanha vão trabalhar em conjunto para iniciar em 2019 um plano de testes de veículos autónomos. Conforme o jornal Público (Pereira e Villalobos, 2018), a colaboração estipula a abertura de dois corredores onde os veículos autónomos, um entre Porto e Vigo e outro entre Évora e Mérida. Estes corredores vão disponibilizar acesso a 5G, a próxima geração de redes móveis, que permite comunicações mais rápidas do que as atuais e que pode ser usada, por exemplo, para VAs comunicarem uns com os outros ou com equipamentos nas estradas.

“Há alterações de legislação que temos de fazer durante este ano e só com essas alterações – em termos de responsabilidade, de constituição de seguros e clarificação de direitos e deveres neste tipo de situação – é que conseguimos, depois, avançar”. Secretário de Estado das Infraestruturas, Guilherme W. d’Oliveira Martins (Nunes, 2018).

3.4 Privacidade e Sistema Legal

Com a chegada da conectividade *wireless* nos veículos, Glancy (2015) (Universidade de Santa Clara, Califórnia, EUA), chama a atenção para cuidados a ter em relação à privacidade e segurança dos passageiros. Estes aspetos fazem sentido quando se fala em automação total dos veículos, já que isso dará possibilidade aos passageiros, desobrigados da tarefa de condução, de recorrer à internet para entretenimento ou trabalho durante as viagens.

Um estudo mais detalhado sobre a problemática da segurança prevê o aumento do risco de *ciberataques* com o desenvolvimento tecnológico. O mesmo estudo aponta a interação veículo-infraestrutura como uma porta de acesso para *ciberataques* a veículos, o que poderá ter

consequências desastrosas, tais como adulteração do controlo semafórico, criação deliberada de acidentes ou falhas gerais de todo o sistema de tráfego (Islam *et al.*, 2018).

Assim, o Departamento de Transportes dos Estados Unidos (USDOT) desenvolveu a CVRIA (*Connected Vehicle Reference Implementation Architecture*) onde são discutidos, entre outros temas, a questão da utilização V2I em segurança (Islam *et al.*, 2018). Esta entidade declara que todas as soluções de segurança relativas a tecnologias V2X devem-se focar em três pilares:

- **Confidencialidade:** o conteúdo das mensagens trocadas num processo V2I não pode ser acedido por utilizadores indesejados e não autorizados. A confidencialidade da informação trocada tem de ser considerada no desenvolvimento dos sistemas de comunicação;
- **Integridade:** todas as informações trocadas entre o veículo e a infraestrutura têm de manter uma integridade total perante corrupções não autorizadas de modo a segurar rigor, fiabilidade e confiança no sistema;
- **Acessibilidade:** é essencial que a informação permaneça acessível aos utilizadores autorizados, em qualquer momento. Uma falha neste ponto poderá levar à ocorrência de acidentes por inadvertência.

Acerca da responsabilidade civil e criminal, Glancy (2015) alerta para um atraso na evolução dos VAs enquanto esta questão não for totalmente definida e transparente. Quanto às entidades que podem ser tidas como responsáveis em caso de problemas com a tecnologia, os fabricantes automóveis ou de componentes destes, juntamente com os vendedores são, de momento, os primeiros arguidos em consideração. De seguida sabe-se que a responsabilidade poderá recair sobre os utilizadores e proprietários dos veículos autónomos. Por último, poderá ser levado em conta as entidades governamentais como arguidos secundários no que toca à conceção, regulação e manutenção da rede viária.

4 DESAFIOS FUTUROS À ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO URBANO PARA ACOLHER OS VAS

4.1 Enquadramento

Sobre a questão de a infraestrutura viária estar pronta para receber os VAs ainda pouca pesquisa foi feita comparativamente à importância e urgência do tema. É necessária uma reflexão sobre estratégias de manutenção, reestruturação e planeamento das redes (Johnson, 2017).

O futuro da mobilidade e das cidades é incerto e um tema de grande divergência entre especialistas. Contudo, o exercício que pode ser feito é a análise do estado da arte e o reconhecimento dos desafios atuais, considerando a presença maioritária de veículos tradicionais e a infraestrutura viária que se encontra desenhada para esse tipo de veículos. O presente capítulo pretende expor os entraves que os veículos autónomos tenderão a enfrentar para circularem em ambiente urbano.

4.2 Tipologias de potenciais problemas

Como se discutiu anteriormente, os VAs tornar-se-ão dependentes de um canal de comunicações fiável em qualquer situação. Para se conseguir um bom funcionamento do veículo, este tem de ser capaz de ler e interpretar todos os acontecimentos/obstáculos que o rodeiam.

Os potenciais problemas podem ser organizados categoricamente da seguinte maneira:

1. Infraestruturais;
2. Regulamentais;
3. Tecnológicos.

Na Tabela 4.1 encontram-se sumariados problemas e desafios abordados, ao longo dos anos, pelos diferentes projetos/competições, referindo o estado atual de resolução dos mesmos..

Tabela 4.1– Sumário de problemas expostos nos projetos. Adaptada de Van Brummelen *et al.*, (2018).

Projetos/ Competições	Problemas Expostos/Abordados	Estado Atual do Problema (*)
Prometheus (1987-1995)	- LAS	-AA
	-ACC	-AA
	-eCall	-AA
No Hands Across America (1995), Munich to Odense Ubm Test (1995), Argo (1998)	-Deteção de objetos via câmara	-AA
	-Perceção em condições luminosas desfavoráveis	-MA
	- Melhoria na deteção de obstáculos e marcações viárias	-MA
	-Complexidade da circulação em meio urbano	-RA
Darpa Grand Challenge (2004), Second Darpa Grand Challenge (2006)	-Perceção em condições atmosféricas desfavoráveis	-RA
	-Navegação <i>off-road</i>	-AA
	-Desvio de obstáculos	-MA
Darpa Urban Challenge (2007)	-Deteção de sinais de trânsito e luminosos	-AA
	-Teste em condições reais de trânsito	-MA
	-Deteção de obstáculos – em particular peões e ciclistas	-MA
	- Condução autónoma a alta velocidade	-MA
	-Complexidade da circulação em meio urbano (tráfego denso, intersecções, etc.)	-RA
Highly Automated Vehicles for Intelligent Transportation (Hait) (2008-2011)	-Sistemas de condução autónoma temporários	-MA
	- V2V para aumentar a redundância dos dados	-MA
	- <i>Software</i> de segurança de VA; deteção de falha do <i>hardware/software/sensor</i>	-RA
Safe Road for The Environment (Sartre) (2009-2012)	- <i>Platooning</i> e os benefícios de segurança relevantes para o ambiente	-MA
Vislab Intercontinental Autonomous Challenge (Viac) (2010)	- <i>Platooning</i> em condições de trânsito reais	-AA
	- <i>Platooning</i> sem informação <i>a priori</i>	-AA
	- Condução autónoma sem informação <i>a priori</i>	-RA
Grand Cooperative Driving Challenge (2011)	-Cooperação eficiente na condução em intersecções	-RA
Efuture (2013)	- Tecnologia de VA energeticamente eficiente	- MA
	-ADAS	-MA
	- Fusão de dados para um aumento do rigor da perceção	-MA
	- Aceitação do consumidor relativamente a VA	-RA
European Truck Platooning Challenge (2016)	- <i>Platooning</i> em condições reais de circulação através de comunicações V2V	-MA

(*) *Amplamente Abordado (AA), Medianamente Abordado (MA) ou Raramente Abordado (RA)*

4.2.1 Limitações Infraestruturais

A Figura 4.1 pretende mostrar pontos críticos na estrutura viária, relativamente ao desempenho dos VA.

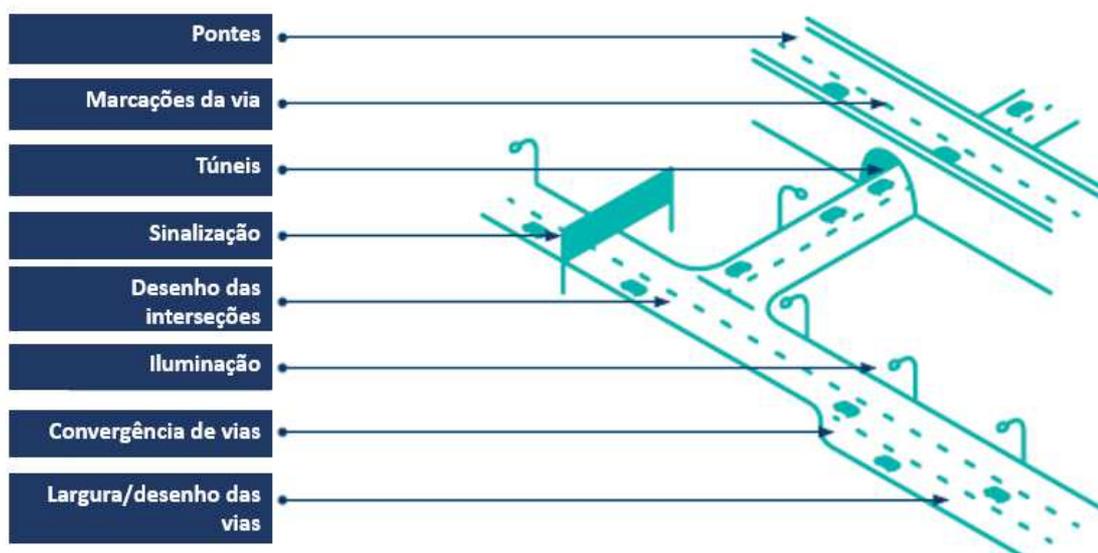


Figura 4.1 - Exemplos de questões infraestruturais a serem considerados Adaptado de Infrastructure Partnerships Australia (2017).

Os sensores dependentes da infraestrutura estão geralmente sujeitos ao prejuízo que o mau tempo pode causar no levantamento da informação. Investigadores acrescentam ainda que, de forma a lidar com este inconveniente, a informação redundante vinda de múltiplos sensores pode falhar em fornecer os dados corretos, (Glancy et al. 2015). Ng e Lin (2016) aditam que em caso de a luz solar incidir de um ângulo baixo, tal como atrás de um sinal luminoso, a generalidade das câmaras não será capaz de reconhecer a cor de um sinal de tráfego.

4.2.1.1 Marcações horizontais

No caso em que a interação veículo-infraestrutura se faça através de sensores do tipo visuais – Sistemas *Lane Keeping*, são requeridas várias condições para o seu funcionamento, nomeadamente a existência de marcações da via, que assegurem uma qualidade suficiente para a sua interpretação, designadamente em termos de retroreflexão (Matowicki, Pribyl e Pribyl, 2016). Estes sistemas tornam-se ineficientes em casos onde as marcações da estrada (linhas axiais e guias) se encontram cobertas de neve ou lama, mas também quando se verifica um desgaste da linha com o passar do tempo. Adicionando os casos em que as marcações são inexistentes, sem qualidade ou erradas verifica-se que este sistema é muito limitado. Também as situações de obras na estrada, como é o caso de abertura de valas ou repavimentações, tendem a acarretar problemas de reconhecimento.

Os mesmos investigadores verificaram na análise efetuada em várias estradas da República Checa, que não era a qualidade das marcações que teria de ser reavaliada, mas sim a qualidade

geral da via e do pavimento. De facto, os erros tendiam a relacionar-se com falsas identificações (*false positive*) derivados de um contraste inesperado. Exemplos disso poderão ser reparações do pavimento, originando contrastes de brilho (Figura 4.2), ou até o reflexo do sol em secções molhadas da via.



Figura 4.2 – Diferentes contrastes no pavimento. Fonte: Lawson, (2006).

Um relatório conjunto da EuroRAP e EuroNCAP (EuroRAP e Euro NCAP, 2014) indica que a manutenção, consistência e uniformidade das marcações viárias se tornaram ainda mais importantes numa altura em que também os veículos têm que interpretar a estrada. Recomendam a padronização das marcações físicas nas estradas europeias para o chamado “150 * 150”. Este padrão já é comumente utilizado e consiste em marcas com 150 milímetros de largura com uma reflexão de 150 milicandelas. Tal opção, permite uma reflexão visível em todas as condições atmosféricas. Permitem ainda delimitar todas as vias e a manutenção das mesmas (EuroRAP e Euro NCAP, 2014). Contudo, importa ter noção que tal opção obrigará à revisão das disposições normativas, regulamentares e recomendativas em vigor em cada país, já que as mesmas tendem a adotar espessuras e relações de traço/espço diferenciadas para sinalização de diferentes elementos e situações.

Os relatórios referentes ao desempenho dos VAs de várias companhias, nomeadamente a Google e a Mercedes-Benz, indicam a falha de sistema (*software e hardware*) como motivo principal de desconexão do sistema autónomo. Para além disso, a má interpretação da sinalização luminosa e as condições deficientes da infraestrutura viária também se revelaram problemáticas.

4.2.1.2 Sinais verticais

O mesmo relatório (EuroRAP e Euro NCAP, 2014) também aborda a questão da sinalização vertical, apontando algumas das principais causas de má interpretação e soluções para se alcançar um desempenho ótimo.

- Obstrução do sinal devido a vandalismo (grafitos, autocolantes, etc.) ou por vegetação; a posição do sinal também podia levar a má visualização;
- Interpretação errada por mau posicionamento do sinal (ângulo incorreto); confusão com sinais nas vias imediatamente adjacentes;
- Qualidade insuficiente da superfície do sinal, colocação inconsistente, heterogeneidade da sinalética nos diferentes países;
- Confusão com vários sinais no mesmo local; fraca iluminação.

A consciência deste tipo de limitações obrigará a prever e uniformizar regras de conceção, requisitos de qualidade e de regras de implantação dos sinais verticais, designadamente:

- Padronização dos sinais verticais pelos diferentes países (forma, cor, fonte), através da implementação da Convenção de Viena (Tabela 4.2);
- Uniformização das regras de instalação, número de sinais adjacentes, ângulo de posicionamento, localização específica de colocação, etc.
- Recurso a materiais mais resistentes que mantenham uma boa visibilidade com os diferentes tipos de iluminação ao longo do dia;
- Manutenção frequente;
- Adaptabilidade dos sinais de mensagem variável para que ambos os veículos tradicionais e autónomos sejam capazes de os interpretar.

Todavia, Johnson (2017) explica que com o desenvolvimento da tecnologia de comunicação, as marcações físicas da rede viária poderão perder alguma importância, contrariando o que seria espectável caso o VA só estivesse equipado de sensores que simulam o reconhecimento visual. Como foi discutido, as vias teriam de apresentar um nível muito alto de manutenção, o que resultaria em custos acrescidos. Assim, o desenvolvimento visa uma combinação de sensores visuais com outros tipos de sistemas de comunicação com a infraestrutura, de modo a preencher as limitações das câmaras. Não obstante, o desenvolvimento não poderá ser focalizado unicamente no VA, tem de se considerar a existência em simultâneo de VAs e veículos tradicionais, assim como o peão e o ciclista. Para tal, a transmissão de informações e regras de trânsito terá de ser compatível com todos estes utilizadores.

As entidades responsáveis pela gestão de tráfego urbano devem ter em consideração todas as ações que possam alterar de alguma forma o traçado da via (Flemming *et al.*, 2015). Os planos de manutenção ou obras de urbanização terão de ser submetidos com antecedência para se poder gerir as implicações no sistema de comunicação dos veículos autónomos.

A ASECAP (Association Européenne des Concessionnaires d’Autoroutes et d’Ouvrages à Péage, 2016) levanta ainda a questão das portagens automáticas (pórticos) em autoestradas,

mais precisamente, sobre a capacidade de reconhecimento de cada veículo se estes se deslocarem em *platooning*,⁴. Poderá ter de se adaptar todo o sistema existente.

Tabela 4.2 – Exemplos de diferentes implementações da Convenção de Viena em 5 países.
Adaptado de Dawson e Ratingen, (2014).

Sinalização Vertical	Grã-Bretanha	Grécia	Holanda	Polónia	Sérvia
Stop					
Cedência					
Proibição					

4.2.1.3 Túneis

A condução de um VA requer uma constante determinação da sua localização. Observou-se que os sensores a bordo do veículo (medições inerciais e ângulo direcional, juntamente com medições odométricas) tendencialmente acumulam erros (Dragt et al. 2003). Assim, é necessário um ajuste frequente da posição, geralmente através de GPS. Ainda assim, o GPS não fornece uma exatidão decimetal.

No caso concreto dos túneis os sistemas de satélite e GPS não são habitualmente fiáveis pois podem ocorrer perdas de sinal. Dada a geometria restritiva destas infraestruturas, uma imprecisão na estimativa do posicionamento, pode resultar um desvio lateral da direção que por sua vez pode resultar em colisões com as paredes do túnel (Tarada, 2017).

A solução encontrada pelos investigadores passa por uma combinação de sistemas inerciais conjugando sensores de deteção de marcações da estrada e *beacons* posicionados no interior do túnel (comunicação V2I). Esta combinação permite estimar a localização do VA com uma exatidão superior ao decímetro e de uma forma mais flexível ao invés de se saber à priori os mapas detalhados de cada túnel (solução impraticável).

⁴ European Association of Operators of Toll Road Infrastructure, Bridges and Tunnels.

Para além da falha de conexão dos sinais GPS, os túneis caracterizam-se ainda por disponibilizar uma luminosidade reduzida, o que poderá causar problemas para as deteções visuais (Van Brummelen *et al.*, 2018).

Para além das dificuldades técnicas apontadas em cima, Fathi Tarada (Tarada, 2017) – especialista em operações, ventilações e incêndios em túneis – antevê um problema acrescido de segurança relacionado com os riscos de incêndio no interior de túneis.

De facto, os VAs não estão a ser equipados de detetores de incêndio, por questões de rentabilidade económica dos fabricantes automóveis. Ainda que fossem instalados em cada VA, o sensor seria ativado tarde de mais. Tarada salienta o uso de comunicações V2I e V2V para alertar os VA no caso de um veículo em chamas, estando os túneis equipados com sistemas de deteção de incêndios. As câmaras do VA também serão necessárias para detetar sinais de encerramento de vias ou redireccionamento de trajeto. Os canais V2I são igualmente úteis em situações de emergência para possibilitar uma comunicação entre os operadores dos túneis e outras entidades e os condutores.

Esta comunicação é importante no momento de tomar decisões, podendo ser mais vantajoso sair do túnel se o veículo em chamas se encontrar perto da saída, sem bloquear a via. Noutras situações será mais seguro parar e evacuar o túnel a pé. A complexidade do problema levou os responsáveis dos projetos EU SAFESPOT e EU Safe Tunnel proibirem a circulação de VAs nestas infraestruturas (Tarada, 2017).

Nas pesquisas em que a circulação de VAs em túneis foi testada verificou-se um sucesso de execução. No *European Truck Platooning Challenge 2016* (Direcção-Geral das Obras Públicas e Gestão das Águas da Holanda, 2016), onde foram testados vários camiões em platooning, em autoestradas do norte da Europa, esperava-se uma falha do sistema em túneis e uma necessidade de desfazer o pelotão na entrada da dita infraestrutura. No entanto, verificou-se que os túneis não eram longos o suficiente para testar o sistema até à falha. Apenas na Bélgica foi requerido que o pelotão se desfizesse nas imediações do túnel.

4.2.1.4 Pontes

Outro tipo de infraestrutura que pode inviabilizar o posicionamento exato do VA são as pontes. Neste caso, apesar de uma boa captação de sinal GPS, o VA tem poucas referências físicas circundantes à via, como edifícios. Estas referências ajudam a localizar mais precisamente a posição do veículo.

Para além desta dificuldade, o prolongamento da estrutura da ponte, por cima da via (vigas, cabos, etc.), pode interferir com o que os sensores do VA interpretam (Muoio, 2016). Esta questão pode ser resolvida na edificação de pontes novas, prevendo uma estrutura mais padronizada que tenha em conta a compatibilidade com os VAs.

Um exemplo prático dos obstáculos que este tipo de estruturas apresenta foi observado nos testes do VA da Uber (Muio, 2016). O Volvo autônomo transferiu as suas funções para o condutor humano durante o atravessamento do rio Allegheny, Pensilvânia, EUA.

A Catapult Transport Systems (2017), citando um representante das Autoestradas de Inglaterra, salienta ainda um possível problema de sobrecarga nos tabuleiros das pontes devido à circulação em *platooning* dos VA pesados (Catapult Transport Systems UK, 2017). Atualmente, os modelos de previsão de tráfego utilizados no planeamento e conceção de pontes não refletem este modo de circulação mais denso, podendo revelar-se perigoso.

Ainda não se conhecem muitos estudos sobre o impacto do sobrepeso que os VA poderão trazer para as pontes. Com o *European Truck Platooning Challenge 2016* (Direcção-Geral das Obras Públicas e Gestão das Águas da Holanda, 2016), esperava-se observar um aumento do desgaste do pavimento com as travagens e aumento de carga com a circulação em *platooning* e ponderou-se impor um limite de carga ou a separação do pelotão obrigatória nas imediações da ponte. Em relação a estes problemas o estudo foi inconclusivo devido à sua curta duração e à falta de recolha de dados.

4.2.1.5 Estacionamento

Para este tipo de funções o VA requer sensores de grande rigor, especializados para realização de manobras a pequenas velocidades. Os recentes avanços nesta área em particular têm-se baseado, genericamente, em mapeamentos meticulosos das vias e dos parques de estacionamento (Templeton, 2013).

Alguns obstáculos ao bom funcionamento do estacionamento autónomo são o reconhecimento do ambiente exterior ao VA, especialmente sob condições atmosféricas adversas. Também têm de ser revisitados os estacionamentos em espaços exíguos ou em situações em que os veículos estacionados violam as marcações e invadem ligeiramente o lugar que o VA detetou como vago (Li e Shao, 2015). Os autores acrescentam que pode ocorrer a situação em que o VA estacionou corretamente, mas impossibilitou a abertura das portas para os passageiros do próprio veículo ou o do lado.

Denota-se a escassez de estudos relativos a casos particulares, em meio urbano e rural, nomeadamente a situação frequente de parques de estacionamento não pavimentados ou sem marcações formais e onde os VAs não dispõem de referências que lhes permitam estacionar de forma lógica ou mesmo não bloquear os acessos.

4.2.2 Limitações Regulamentares

Acerca dos limites de velocidade, os VAs limitam-se a cumprir os valores máximos legais, estabelecidos para os veículos tradicionais, até ser aprovado algum tipo de regulamento específico (Glancy, Peterson e Graham, 2015).

Observou-se, quer em autoestradas quer em meio urbano, que os VAs circularam a velocidades inferiores à dos veículos tradicionais. Verificou-se ainda que estes últimos tendiam a ultrapassar o limite de velocidade estabelecido por lei e a ter menos atenção aos peões (Millard-Ball, 2018).

O teste de *platooning* em autoestrada também observou que muitos automobilistas tradicionais (mesmo camiões) tentavam ultrapassar o pelotão por este praticar velocidades relativamente inferiores (Direcção-Geral das Obras Públicas e Gestão das Águas da Holanda, 2016).

4.2.3 Limitações Tecnológicas

4.2.3.1 Interação entre utilizadores

A interação dos VAs com os restantes utilizadores da rede viária – veículos tradicionais, peões, ciclistas – é um assunto de elevada importância a considerar durante o período de transição em que ambas as tipologias de veículos estarão em circulação simultânea, assim como os referidos peões e ciclistas e transportes coletivos.

Pondera-se se o *gap* (espaço entre dois veículos consecutivos que os restantes utilizadores estão dispostos a aceitar para efetuar uma manobra em segurança) se irá alterar com a aproximação de um VA (Parkin *et al.*, 2016). Esta questão também se coloca para os peões, caso identifiquem que o veículo é autónomo, poderão alterar a sua decisão de atravessar uma estrada.

A interação humana é relevante nas situações de interseções ou de ruas estreitas. Nestas situações é essencial que o VA consiga identificar as intenções dos restantes utilizadores. No caso dos ciclistas, a interação por meios de gestos pode não ser a mais padronizada, pelo que não se conhece a capacidade do VA para os interpretar.

O relatório sobre o desenrolar de um teste de *platooning* em autoestradas da Europa direita (Direcção-Geral das Obras Públicas e Gestão das Águas da Holanda, 2016) revelou a existência de algumas hesitações por parte dos veículos tradicionais perante o pelotão de camiões. Pretendiam ultrapassar o último camião, mas não o pelotão inteiro, no entanto o *gap* não se alargava para os deixar voltar a integrar na via mais à direita. Quando um veículo tradicional se conseguia introduzir no meio do pelotão, este acabava por quebrar a conexão.

4.2.3.2 Rotundas

As interseções em rotunda são comumente utilizadas na Europa, apresentando como vantagens principais: i) elevado nível de segurança (8 pontos de conflito em vez de 32 no caso das interseções de 4 ramos); ii) medida eficaz de acalmia de tráfego; iii) elevada capacidade e fluidez (Milger e Gillgren, 2015).

A generalidade dos VAs da atualidade remete para o modo de condução manual quando se deparam com uma rotunda. Lance Eliot (Eliot, 2017), CEO da Techbrium Inc., indica que a inteligência artificial de um VA ainda não se encontra preparada para lidar com a dinâmica e características do trânsito neste tipo de interseções. O VA apresenta dificuldade em entrar em

segurança na rotunda, remetendo frequentemente o ato de condução para o modo manual. Consequentemente esta situação pode-se tornar imprevisível para o condutor e consequentemente perigosa.

O veículo tem dificuldades em identificar e interpretar os movimentos automóveis do outro lado da ilha central da rotunda, e assim prever os padrões de movimentação (Eliot, 2017). Uma solução apontada com frequência é a conexão e comunicação em tempo real, mas esta revela-se pouco fiável. Tem de se ter em conta que os dados possam incluir “ruído” ou fornecer apenas parte da informação (Eliot, 2017).

Na aproximação à entrada o veículo tem de detetar o número de vias disponíveis no interior da interseção. No caso de só existir uma via, a tarefa é simplificada pois não existem manobras de mudança de vias ou entrecruzamentos. O VA tem de detetar os veículos em fila nas imediações da entrada e averiguar a natureza dos seus comportamentos – se vão avançar de forma mais agressiva ou se vão parar e ceder a passagem. Também existe a possibilidade de o veículo não ter necessidade de parar à entrada da rotunda, se não houver trânsito, bastando desacelerar. Contudo, por vezes o sistema não está preparado para desacelerar bruscamente e adaptar a velocidade às características da rotunda (Eliot, 2017).

Uma dificuldade na análise de rotundas envolve encontrar um *gap* que permita ao veículo de entrar em segurança no fluxo – certos condutores vão reduzir a velocidade e permitir a entrada, enquanto outros não terão essa preocupação e poderão até cortar a entrada propositadamente (Eliot, 2017). O mesmo sucede quando o VA tem de trocar de via de forma a respeitar os procedimentos comportamentais legais estabelecidos em cada país. No caso português, sempre que o VA entra na rotunda vindo de uma via mais à direita, e pretende sair na 3ª saída, terá necessariamente de mudar para a via mais à esquerda durante a aproximação. Dentro do anel de circulação, importa ainda respeitar as regras vigentes, nem sempre inteligíveis e tecnicamente defensáveis. Esta transição está ainda dependente do comportamento dos outros condutores, pelo que o VA poderá ter de contornar completamente a rotunda, no caso de não ter conseguido uma vaga na primeira tentativa.

Apesar de as rotundas serem desenhadas com regras específicas inerentes, a imprevisibilidade, heterogeneidade e inconsistência do comportamento dos condutores tem de ser considerada. Estes fatores dependem da altura do dia, do dia da semana, do volume de tráfego e da sua velocidade, assim como hábitos locais.

As rotundas, apesar de serem comuns nas redes viárias ainda requerem investigação no que toca à presença de VAs. Uma colaboração com a Audi AG e o Dr Raaijmakers (Eindhoven University of Technology, 2017) levou a uma melhoria nos sistemas de sensores conseguindo uma perceção mais rigorosa do exterior. Para o VA conseguir circular numa rotunda terá, primeiramente, de identificar a sua geometria. Isto não é alcançado apenas com sensores, sendo que o modelo proposto leva também em conta um mapa digital detalhado. Este sistema

combinado exige, contudo, a disponibilização de mapas atualizados e com elevado rigor e detalhe, o que nem sempre existe. Elevações do terreno podem interferir na visibilidade e confundir os sensores se as mudanças forem súbitas (Adams, 2018).

De acordo com um relatório sobre as implicações na segurança de veículos conectados, da Associação Europeia da Segurança Rodoviária (EuroRAP e Euro NCAP, 2018), as rotundas poderão ser substituídas por interseções semaforizadas quando todos os veículos em circulação forem autónomos. Até agora, as interseções circulares apresentavam uma melhoria na segurança para os condutores tradicionais, contudo espera-se que sejam menos necessárias com a redução de acidentes inerente à evolução tecnológica. Esta transição será favorável para os ciclistas.

Forster (2018) sublinha que um VA emergindo de uma via secundária para virar à esquerda numa corrente de tráfego intensa de veículos tradicionais, não seria capaz de averiguar uma permissão de entrar na interseção feita por contacto visual entre condutores.

Em 2013, um VA foi testado em meio urbano na cidade de Parma, Itália (Broggi *et al.*, 2014). Este desafio – PROUD – demonstrou resultados muito positivos em rotundas simples, contudo resta resolver a questão de rotundas constituídas por várias vias ou convergindo para uma saída curta sujeita a elevadas velocidades. Também se observou que o veículo teve um comportamento extremamente conservativo para aquilo que é a expectativa de um condutor tradicional, refletindo-se em pausas longas e paragens desnecessárias apesar de o outro veículo na rotunda já ter iniciado a mudança para outra via.

4.2.3.3 Outras Interseções

O erro de posicionamento e localização dos outros veículos é especialmente importante em interseções do tipo Y (bifurcações) e interseções por níveis (Quddus *et al.* 2007).

Outros investigadores apontam para a sinistralidade acentuada nas interseções do tipo T (cruzamento com ou sem prioridade à direita), o que demonstra a problemática das interações que surgem muitas vezes neste tipo de cruzamento (Sezer *et al.*, 2015). Assim, se não se considerarem comunicações V2V ou V2I é essencial estudar algoritmos que prevejam o comportamento dos restantes utilizadores, principalmente no que toca a identificar condutores agressivos ou distraídos, que não cedam a passagem em interseções apesar da lei o requerer.

4.2.3.4 Peões

A substituição de condutores humanos por sistemas autónomos implica a perda de interação social. Para além de ser uma tarefa de controlo dinâmico, a condução também requer interação entre todos os utilizadores da rede viária de modo a garantir um fluxo de tráfego eficiente e seguro. Esta interação permite resolver várias ambiguidades no tráfego. No caso dos pedestres, permite-lhes perceber se é seguro atravessar ou não a estrada, por exemplo, recebendo e interpretando um sinal do condutor (Rasouli e Tsotsos, 2018).

Assim, o contacto visual é particularmente importante, quer para os peões terem a certeza que foram vistos, quer entre condutores para garantirem que a sua intenção é compreendida. No entanto, um estudo apresentado na AutomotiveUI'17 (Dey e Terken, 2016) sugere que esta interação não desempenha uma função essencial e que os padrões e comportamento do veículo desempenham um papel decisivo para os peões. Isto é coerente em situações noturnas ou com mau tempo em que o contacto visual não é conseguido. Estes resultados são positivos no que toca a inserção de veículos autónomos na rede viária.

A estrutura viária – tipo de atravessamento e geometria da via e largura da mesma – tem impacto no nível de risco assumido no atravessamento. Por exemplo, os peões tendem a prestar mais atenção em vias largas e aceitar um *gap* reduzido em vias mais estreitas (Rasouli e Tsotsos, 2018).

As condições meteorológicas também têm influência no comportamento dos peões, sendo que numa situação de fraca visibilidade, estes vão ter dificuldade em estimar a que velocidade circula o veículo. Para além da redução de visibilidade, o mau tempo influencia as condições da estrada, podendo tornar o pavimento mais escorregadio (Rasouli e Tsotsos, 2018).

A velocidade de circulação do veículo tem igualmente importância na decisão de atravessar a estrada, sendo que para maiores velocidades o peão tem dificuldade em perceber as intenções do veículo (Rasouli e Tsotsos, 2018).

O mesmo artigo refere que a interação entre peões e VA pode ser feita através de comunicação V2P. Um exemplo disso é a proposta da Honda para os peões utilizarem *smartphones* que transmitam a sua localização e recebam informação sobre a posição dos veículos nas suas proximidades. No entanto, com este método, ambos os peões e veículos conhecem as respetivas localizações, pelo que é importante referir os problemas de privacidade inerentes.

Outra solução passa por desenvolver um sistema que permita ao VA transmitir sinais ou mensagens sobre a sua velocidade ou as suas intenções. Podem também indicar ao peão se é seguro atravessar ou não (Figura 4.3).

A Mitsubishi introduziu um sistema que ilumina o pavimento com padrões que informam acerca das intenções do condutor. Embora o desempenho do sistema ainda não tenha sido testado, é espectável que este meio de comunicação se revele útil nos períodos noturnos e apoie os peões na decisão a tomar.

A faixa de rodagem também pode ser usada para transmitir as intenções do VA, assim como a sua localização nas imediações – *Smart Roads* (ver Figura 4.4). Estas estradas estão equipadas com sensores e sistemas luminosos que detetam movimentação de veículos, peões, mudanças atmosféricas ou outras ocorrências que potenciem acidentes. Um exemplo deste sistema pode ser encontrado na cidade de Londres. Um sistema de LEDs que transmitem sinais de aviso para utilizadores distraídos.



Figura 4.3 – O VA exibe uma mensagem para o peão (Daimler AG, 2017a).



Figura 4.4 – *Smart Roads* (Mairs, 2017).

A questão de identificar e interpretar o comportamento da pessoa que se aproxima da via é um grande desafio para os VAs. Variados estudos analisaram todos os fatores inerentes ao processo de tomada de decisão no momento de atravessar a estrada (Rasouli e Tsotsos, 2018). Foram desenvolvidos algoritmos com a função de classificar o comportamento como “prestes a atravessar” ou “não vai atravessar” (Sebastian *et al.*, 2012).

O comportamento do peão divide-se em dois grupos de fatores: sociais (idade, sexo, atravessamento individual ou em grupo, dimensão do grupo) e envolvente física (existência ou não de passadeiras, semáforos, volume de tráfego, velocidades praticadas, dimensões da via, iluminação e condições atmosféricas).

Um estudo efetuado sobre a interação entre peões e VAs (Lagström e Lundgren, 2015) demonstrou que os peões se mostram menos dispostos a atravessar a estrada quanto o comportamento do condutor passava de ativo para passivo. Contudo, esta tecnologia ainda está sujeita a erros: o peão pode parar subitamente ou mudar de direção, sendo que também se podem encontrar imobilizados no passeio perto da via, ou mesmo caminhar na berma da estrada. Estas possibilidades podem induzir em erro o sistema de previsão do VA (Rasouli e Tsotsos, 2018).

Alguns investigadores (Millard-Ball, 2018) prevêem que num futuro com uma predominância de VAs em circulação os peões terão menos cuidado e poderão atravessar mais frequentemente

fora das passadeiras, sabendo que o VA irá parar automaticamente e ceder a passagem. Segundo a NACTO, a malha urbana poderá ser otimizada no sentido de diminuir a largura das faixas e limitando a velocidade de circulação dos veículos. Assim, deixará de haver necessidade de formalizar um atravessamento pedonal, permitindo aos peões atravessarem a via em qualquer lugar (National Association of City Transportation Officials, 2017). Esta priorização dos pedestres poderá, no entanto, ter implicações negativas no fluxo de tráfego.

As limitações dos VAs face aos ciclistas podem ser entendidas como um prolongamento da questão dos peões. Em troços onde não existem uma faixa segregada para bicicletas, existe uma partilha da via com os restantes veículos.

4.2.3.5 Conetividade

Para potencializar a conectividade dos veículos prevê-se a instalação de dispositivos RSU ao longo da rede viária, funcionando como um suplemento aos dispositivos e sensores incorporados nos veículos (Islam *et al.*, 2018). É importante que o veículo recolha toda a informação necessária da sua envolvente e ainda faça predições conforme a posição e trajetória dos outros veículos. Estes aparelhos exteriores estarão localizados em sítios estratégicos, fornecendo informações sobre a localização dos veículos, condições de trânsito, localização de acidentes rodoviários ou obras na via pública. Grandes obstruções físicas (edifícios, vegetação densa, etc.) podem interferir com o alcance do sinal emitido, o que implica alterações que têm de ser efetuadas na infraestrutura viária de modo a poder instalar o sistema de comunicação eficientemente, com o conseqüente custo acrescido.

Os dados relativos à deteção de acidentes ou outro tipo de obstruções terão de ser normalizados para garantir uma transmissão digital eficiente. Prevê-se que em casos de tráfego muito elevado haja problemas derivados de picos de informação/emissão de sinais. Para além disso, a questão da partilha de informação tem de ser avaliada com o devido rigor para prevenir ciberataques ou uso indevido de dados (International Transport Forum, 2018).

O investimento em dispositivos que permitam a interação com peões e ciclistas também será necessária por questões de segurança. Em paralelo terão de ser encontradas soluções que facilitem esta integração para garantir ao peão e ciclista uma sensação de conforto e segurança.

Vock (2016) realça um aspeto intrínseco à tecnologia V2I: os VAs requerem mapas muito detalhados. O GPS não é suficientemente minucioso, apresentando tolerâncias de alguns metros. Esta falta de exatidão pode revelar-se problemática em níveis de autonomia elevados. De facto, os sistemas de informação via satélite não são fiáveis em túneis, zonas entre copas de árvores muito densas, dadas as interferências e ruído do sinal em áreas urbanas igualmente densas, etc.

Flemming *et al* (2015) indicam a Google como exemplo de uma companhia que pretende equipar os seus veículos com sensores suficientes de modo a não ter de recorrer a sistemas de

comunicação V2I pois estes trarão custos que o governo e a própria companhia não poderão suportar.

4.2.3.6 Mudança de via

A detecção da via pode advir de dois métodos distintos: dependente ou independente da infraestrutura. Este último depende dos sensores de posicionamento DGPS⁵ ou de análise visual que permitem identificar as marcações da estrada. Estes sensores, no entanto, estão sujeitos a erros (marcações desgastadas ou inexistentes, falha de conectividade GPS ou imprecisão de dados) o que leva a um posicionamento lateral incorreto. Para solucionar os erros vindos destes tipos de sensores é frequentemente sugerida a instalação de marcadores FSS – *frequency selective stripes* (pequenas superfícies concebidas para refletir, transmitir ou absorver campos eletromagnéticos) (Ho et al. 2009). Estes marcadores podem ser em forma de radares ou marcadores magnéticos e permitem estabelecer continuidade no posicionamento. Deste modo a detecção da via passa a ser dependente da infraestrutura. Os mesmos autores apontam que este método tem, no entanto, limitações na detecção em locais de transição de vias.

A operação de mudança de via revela-se uma tarefa complexa para os VAs, especialmente em ambiente urbano, com elevada densidade de tráfego e com múltiplas vias (Dixit, Chand e Nair, 2016). É uma área ainda em franco desenvolvimento tecnológico.

Em meio urbano, a intensidade do tráfego é subjacente a fatores pré-estabelecidos – tempos de verde dos sinais luminosos e características da via, mas também depende de fatores com alguma incerteza inerente – comportamento dos condutores humanos, tipo de veículos, condições climáticas, etc. (Cao *et al.*, 2017).

Os mesmos autores esclarecem que as mudanças de vias podem ser obrigatórias no sentido em que o veículo necessita de trocar de via para seguir um trajeto específico ou assegurar determinadas condições de circulação (maior velocidade, evitar camiões, etc.).

No caso de ser uma decisão obrigatória, o momento ideal para o fazer tem de ser analisado. Supondo tratar-se de uma viragem à esquerda, para uma via que se espera apresentar uma velocidade de regime livre inferior: se a mudança de via for efetuada demasiado cedo, o tempo de viagem aumentará visto que passará mais tempo na via mais lenta. No entanto, se a decisão de mudança de via não for feita a tempo, poderá não ser garantido um intervalo entre veículos que lhe permita uma transição em segurança (Cao *et al.*, 2017).

Decompondo a manobra em causa em fases podem-se definir duas questões essenciais: o VA tem de ser capaz de analisar o comportamento dos outros condutores que circulam nas suas imediações, estimando as suas velocidades (Goswami, 2015); seguidamente terá de formular

⁵ Esta variante do sistema GPS prevê uma precisão de localização muito superior à do sistema tradicional através de uma rede de estações terrestres fixas.

uma trajetória baseada nos dados analisados. Esta operação requer uma coordenação dos vários sensores a bordo do VA de modo a ter conhecimento sobre o ambiente envolvente, a velocidade e a posição exata dos veículos adjacentes. O processo complica-se no caso em que existem mais do que duas vias e em situações em que o comportamento dos outros condutores se revela mais agressivo (Goswami, 2015).

Uma questão que ainda não foi considerada na totalidade corresponde a considerar as decisões de mudança de via do tráfego como um todo em vez de priorizar a circulação do VA em específico (Cao *et al.*, 2017). Isto pressupõe uma comunicação V2I e V2V, partilhando a informação da situação do tráfego em tempo real.

Em relação a mudanças de vias com o objetivo de efetuar uma ultrapassagem, o VA tem de ser capaz de analisar o tráfego existente. No exemplo de um veículo se encontrar imobilizado em segunda fila, com a possibilidade de ultrapassagem sem transpor a linha contínua, o VA terá de decidir entre contornar o veículo ou esperar. A empresa Zoox publicou um vídeo no qual se pode observar o seu VA a contornar veículos parados em segunda fila, em São Francisco, EUA (Zoox, 2018). No caso de o VA ter de transpor uma linha contínua este poderá ser uma ação a tomar pelo condutor, alternando o modo autónomo para tradicional. Existe ainda escassa informação sobre este tipo de situações, embora muito comuns em meio urbano.

Pode ocorrer a situação de o VA ter de entrar na via de sentido oposto para poder contornar o veículo imobilizado, nesse caso a operação é tanto mais complexa quanto maior for o fluxo de trânsito no sentido oposto. Geralmente existe um processo de “negociação” com o veículo que se aproxima que pode ser resolvido interpretando a desaceleração, um gesto com a mão ou um sinal de luzes (Maurer *et al.*, 2018). Se o VA não reconhecer estes sinais poderá tomar a decisão mais conservativa de aguardar por um *gap* mais seguro para passar.

Sugere-se, também, para um futuro planeamento urbano a eliminação de certos estacionamento em vias muito estreitas de modo a permitir a passagem em simultâneo de dois veículos vindos de direções opostas, ou converter ruas em sentido único de circulação (Catapult Transport Systems UK, 2017).

Um relatório (Endsley, 2017) sobre o desempenho do modelo S da Tesla indica que o sistema ALC – *Auto Lane Change*, em tráfego moderado e intenso se revelou dificultado. As mudanças de velocidade, durante a mudança de via, adaptando-se às do tráfego envolvente, tornavam-se desconfortáveis e foi preferível realizar esta ação manualmente. Verificou-se também uma inconsistência na deteção de veículos adjacentes ao VA e no seu ângulo morto.

4.2.3.7 Congestionamentos

Os investigadores indicam que a complexidade do meio urbano interfere negativamente no rigor do posicionamento do VA. Um estudo (Wen, Hsu e Zhang, 2018) analisou vários cenários na cidade de Hong-Kong, concluindo que a precisão da localização é de facto prejudicada com o

aumento da urbanidade (reflexão de sinal, interferências, cortes no sinal, etc.) e também com o aumento do número de veículos em circulação. Verifica-se que uma grande quantidade de veículos em movimento distorce a operação de mapeamento entre duas conexões consecutivas com a *cloud*. Os veículos de grande dimensão podem também obstruir outros sensores do VA.

4.2.3.8 Obras

O VA tem de ser capaz de identificar a sinalização indicativa da existência de obras na rede viária. Os troços em construção poderão implicar um corte na via não antecipado pelo GPS ou desvio de trajetórias, nem sempre coerentes com as marcações horizontais pré existentes (General Motors Inc., 2018).

Estes cenários de obras na faixa de rodagem são mencionados como um motivo de falha frequente no sistema autónomo, nomeadamente no relatório de teste ao VA da empresa Google – Waymo (Google, 2015).

5 ESTUDO DE CASO

Numa perspetiva mais interpretativa e prospetiva, considerou-se interessante testar a relevância e a incidência dos potenciais entraves à circulação de VA em meio urbano, através do desenvolvimento de um estudo de caso. Este estudo teve como principal objetivo perceber o grau de incidência, em Portugal, das dificuldades consideradas mais comuns à inserção de VA em meio urbano.

Assim, dentro da cidade de Coimbra, selecionaram-se trechos de vias públicas, abrangendo classes hierárquicas diferentes. Ao longo destes troços foram identificadas características da via que possam causar dificuldades à perceção do veículo, situações de má manutenção ou até erros de execução da própria via ou da sinalização.

5.1 Seleção e Caracterização dos Locais

Foram selecionados cinco trajetos, abrangendo desde vias de acesso local até vias distribuidoras principais (ver Figura 5.1 a Figura 5.5). Com eles pretende-se retratar viagens pendulares típicas de utilizadores em Coimbra. A representação dos traçados foi realizada no *software* QGIS.

5.1.1 Trajeto 1: Solum – Praça da República

Este trajeto foi escolhido por representar um ambiente dentro do centro urbano, onde se privilegia a função circulação em detrimento do acesso.

O bairro da Solum, da freguesia de Santo António dos Olivais, apresenta características de área residencial, com uma expansão significativa na década de 60. Esta zona integra igualmente bastantes serviços. O centro comercial Alma Shopping, o Estádio Municipal, o pavilhão multidesportos, e os vários centros escolares proporcionam uma procura de tráfego elevada que origina um tráfego pedonal igualmente relevante.

A praça da república realça-se por ser um ponto central da cidade com grande afluência de autocarros urbanos dos SMTUC. Aqui concentram-se vários bares, o jardim da Sereia, a Associação Académica de Coimbra, o Teatro Académico Gil Vicente, entre outros prédios residenciais e de serviços. Existe ligação às zonas históricas – a Alta e a Baixa e também permite uma ligação à zona de Celas.

O tráfego, em ambas as áreas salientadas, espera-se elevado, tanto de veículos como de peões.

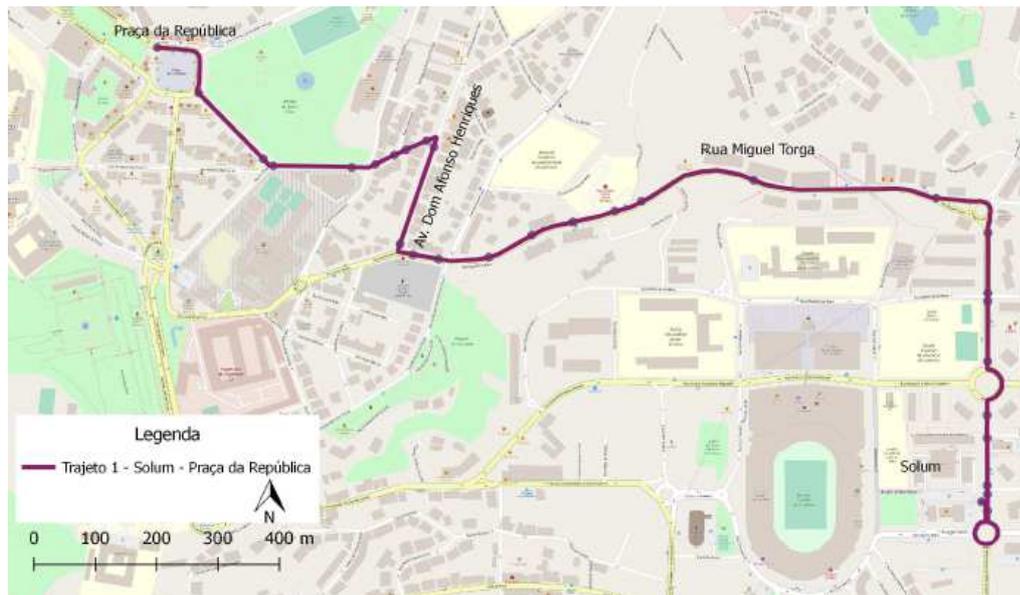


Figura 5.1 – Trajeto 1: Solum– Praça da República.

5.1.2 Trajeto 2: Rua Martins de Carvalho– Sé Velha – Portagem (Av. Emídio Navarro)

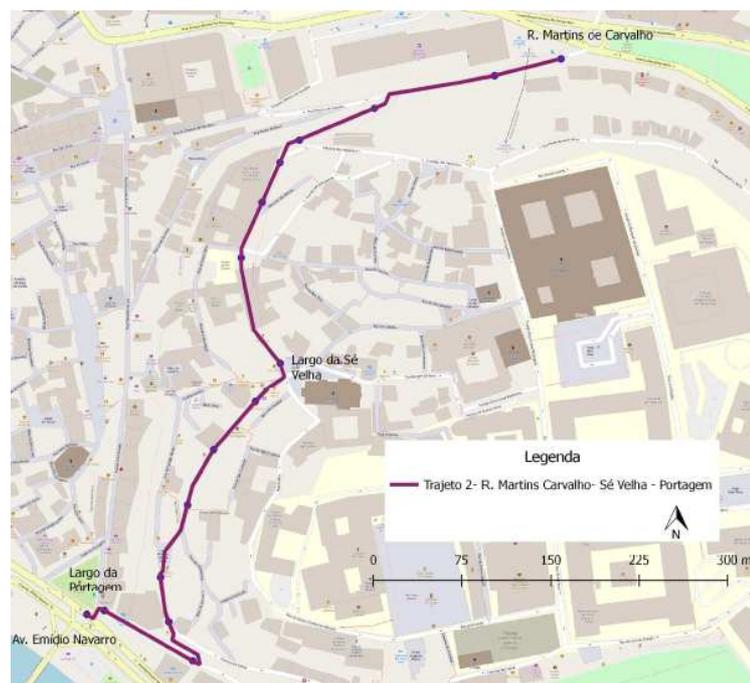


Figura 5.2 Trajeto 2: Rua Martins de Carvalho– Sé Velha – Portagem.

Este trajeto (Figura 5.2), de atravessamento de zona residencial e histórica, é constituído por ruas muito estreitas com pavimento em seixo. A ligação da Avenida Sá da Bandeira até ao Largo da Portagem, passando pelo Largo da Sé Velha é um exemplo típico de vias exíguas, construídas para responder à circulação pedonal. Situada no dentro do núcleo muralhado medieval, a Sé Velha é um marco histórico de grande relevo na cidade de Coimbra.

O largo da Portagem é igualmente um marco na cidade de Coimbra, conta com o hotel Astória, construído em 1926 o qual se encontra na extremidade da rua Ferreira Borges, rua onde se concentra o comércio tradicional e potencial turismo da zona baixa da cidade.

O trajeto termina na avenida Emídio Navarro, mais especificamente no nó principal de ligação à ponte Santa Clara. Esta avenida apresenta um tráfego considerável pois também tem ligação à estação ferroviária A e à avenida Fernão de Magalhães.

5.1.3 Trajeto 3: Rua dos Covões – Rua da Fontinha

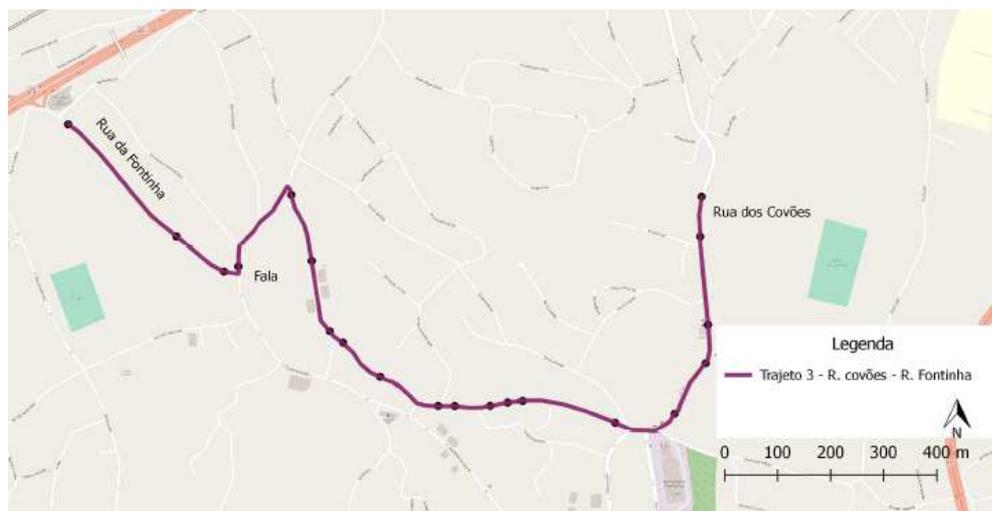


Figura 5.3 – Trajeto 3: Rua dos Covões – Rua da Fontinha.

Este trajeto (Figura 5.3), integrado na freguesia de Santa Clara em zona periurbana, é inteiramente de atravessamento de uma zona residencial e caracteriza-se por concentrar vias de acesso local, onde o tráfego automóvel é moderado a baixo. Esta estrada já integrou uma estrada nacional, pelo que mantém as suas características geométricas de base, às quais se foi associando ao longo do tempo, a construção de passeios em substituição das bermas, particularmente nas zonas residenciais mais densas. Dado o perfil transversal deste trajeto, espera-se uma coexistência mais marcada entre os peões e os veículos.

5.1.4 Trajeto 4: São Silvestre – Geria

Este trajeto é realizado por um troço da estrada nacional N111 com atravessamentos desnivelados (Figura 5.4). O perfil transversal característico deste trajeto é do tipo distribuidora principal, com bermas largas e sem passeios. Tratando-se de um troço não muito condicionado onde apenas deverão existir veículos motorizados. Existem alguns acessos o que também desqualifica este trajeto como via coletora, embora o número de interseções seja limitado. O traçado apresenta muitos troços aproximadamente retos e algumas curvas ligeiras. Espera-se então obter características mais adequadas à circulação de VAs do que os restantes trajetos.



Figura 5.4 – Trajeto 4: São Silvestre – Geria.

5.1.5 Trajeto 5: São Frutuoso – Ceira

Este trajeto suburbano é inteiramente constituído pela estrada nacional N17 (Figura 5.5). Trata-se de uma via distribuidora principal mais condicionada que a anterior dado que existem alguns atravessamentos de localidades, para além disso também se apresenta ligeiramente sinuoso. Neste percurso, apesar de se qualificar como distribuidora principal, apresenta alguns estacionamentos e passeios. Quanto às bermas verifica-se que, em alguns troços, as suas dimensões são inferiores ao que seria de esperar numa estrada nacional.

A maioria das interseções é acompanhada por semáforos.



Figura 5.5 – Trajeto 5: São Frutuoso – Ceira.

5.2 Identificação e Avaliação da Incidência Tipificada de Problemas

A avaliação da viabilidade dos percursos à circulação de VAs foi feita com a observação *in situ* de uma lista de critérios representativos das possíveis limitações da rede viária. Cada parâmetro depende de uma escala de medida diferente maioritariamente do tipo qualitativa. Estes critérios foram selecionados com base nos relatórios sobre as falhas do sistema autónomo de testes reais em VAs (Lv *et al.*, 2018) e nos estudos sobre as limitações detalhadas no subcapítulo 4.2.

Estabeleceram-se então medidas de efetividade – critérios. Estes foram organizados por “famílias de critérios”: A.– Estado de Conservação da Via Pública – representa a qualidade da estrada, em termos de manutenção; B. – Características do Traçado da Via – qualifica a via em termos da sua conceção infraestrutural e C. – Aspetos da Circulação – quantifica o volume de tráfego quer de veículos como pedonal e tenta refletir aspetos comportamentais dos utilizadores como atravessamento fora das passadeiras ou estacionamento de veículos em segunda fila.

As escalas adotadas para as medidas de desempenho qualitativo: Inexistente (2) / Degradado (1) / Ótimo (0) ou do tipo binário: Sim (1) ou Não (0).

O levantamento de dados ocorreu *in situ* por observação direta, tendo os trajetos sido segmentados em troços com características semelhantes e a avaliação de cada critério foi efetuada com o auxílio de uma folha de levantamento de dados (Anexo A - Tabela A.1).

O conjunto A.– **Estado de Conservação da Via Pública** inclui:

- **A.1 – Caracterização estado das marcações horizontais** – identificação de troços onde as guias e a linha de eixo se encontram ausentes (Inexistentes – 2); observação de algum desgaste (Degradado – 1). É importante mencionar que não foi efetuada nenhuma medição do nível de retroflexão das linhas, existe, assim, a possibilidade de o VA não as identificar corretamente apesar de estas não se encontrarem visivelmente desgastadas;
- **A.2- Caracterização do estado do pavimento** – observação de covas e fendilhamentos (Muito Degradado –2); observação de reparações originando tonalidades diferentes ou outro tipo de manchas (Razoável –1);
- **A.3 – Estado da sinalização vertical** – observação de obstrução total ou vandalismo do sinal por inteiro (Inexistente – 2); observação de desgaste na qualidade retrofletiva (Degradado – 1), este critério foi averiguado em período noturno de modo a verificar a qualidade de retrofelxão;
- **A.4 – Iluminação em Funcionamento** – verificar se, quando existe iluminação, esta se encontra ativa (Apagada – 1);
- **A.5 – Existência de Obras** – observar se um troço se encontra em obras (Existem obras – 1).

O conjunto **B.– Características do Traçado da Via** inclui:

- **B.1 – Largura da via:** caracterizar a largura da via em cada trecho, qualitativamente, como sendo Muito Estreita – 2 (para além de não permitir a circulação de dois veículos em direções opostas, em simultâneo, não existem bermas ou estas são muito curtas), Razoável – 1 (via de sentido único) ou “Confortável”;
- **B.2 –Rotunda** – verificar a existência de interseções do tipo rotunda e identificar o número de vias à volta da ilha central (uma via – 1, duas ou mais vias – 2);
- **B.3 – Interseções de outro tipo** – observar a existência de interseções do tipo T ou X (1) ou do tipo Y (2), este último, como se detalhou no capítulo 4, revela-se mais complexo que os anteriores;
- **B.4 – Sinalização Vertical** – indicar a ausência de sinalização vertical em locais onde deveria existir (Inexistente – 2); observar o posicionamento descontinuado ou colocação do sinal muito próximo de outro sinal ou ângulo de posicionamento não adequado (Descontinuada – 1);
- **B.5.- Ponte** – indicar caso o trajeto apresente algum trecho em ponte (Sim – 1);
- **B.6 – Túnel** - indicar caso o trajeto apresente algum trecho em túnel (Sim – 1);
- **B.7 – Semáforos** – observar a existência de semáforos (Sim – 1);
- **B.8– Estacionamento** – observar a existência de estacionamento Não Formalmente Marcado (1);
- **B.9 – Iluminação** – observar a ausência de iluminação ao longo de um trecho (Inexistente – 2); observar a existência descontinuada de iluminação (Descontinuada - 1)
- **B.10 – Passeios** – indicar a ausência de passeios (Não – 1); caso se verifique a inexistência de passeios e se trate de uma via local poderá implicar que o tráfego pedonal se dê nas bermas da faixa e implique situações de interação entre o VA e o peão;

O conjunto **C. – Aspectos da Circulação** trata limitações de software, quando o VA se encontra face a manobras em situações complexas de trânsito, tais como:

- **C.1 – Volume de tráfego de veículos** – qualificar a intensidade de tráfego de veículos como sendo: Muito Intensa – 2; Moderado/Fraco– 1; para este critério optou-se por uma avaliação em períodos de hora de ponta, sendo o pico, em média, às 17-18h;
- **C.2 – Estacionamento em segunda fila**– observar a existência de estacionamentos em 2ª fila que possam obstruir a via e dificultar o processo de decisão do VA (Sim – 1);
- **C.3– Volume de tráfego pedonal** - qualificar a intensidade de tráfego de veículos como sendo: Muito Intensa – 2; Moderado/Fraco– 1;
- **C.4– Atravessamentos fora da passadeira** – na ausência de passadeiras ou quando existe uma maior intensidade de tráfego pedonal podem ocorrer este tipo de atravessamentos que geram interações mais imprevisíveis com o VA (Sim – 1);

- **C.5 – Mudança de via** – identificar se, no troço em questão, o trajeto obriga a uma mudança de via (Sim – 1).

Como foi estabelecido no capítulo 3, cada fabricante automóvel aposta numa tipologia de sensores (ou combinação de sensores) diferente. Isto implica que as limitações de cada VA vão ser igualmente diferentes, ou seja, cada critério terá “pesos” diferentes consoante o VA em análise. Tendo em conta que a presente dissertação não se baseia num teste prático de um VA, mas sim na observação da rede viária, optou-se por atribuir a mesma importância a cada critério. A análise dos resultados da observação é feita contabilizando as limitações em cada troço, sendo que um troço com maior sobreposição de critérios com valores diferentes de zero terá maior probabilidade de falha no sistema autónomo.

O resultado da observação dos critérios em cada troço foi posteriormente representado em mapa através do *software* QGIS. Este sistema de informação geográfica (SIG) permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Deste modo a discussão de resultados torna-se mais evidente, sobressaindo com cores mais escuras, os troços com maior sobreposição de limitações.

Começando por apresentar a análise individual de cada percurso podem-se identificar troços críticos – partes do trajeto onde se verificam mais dificuldades para os VAs. Por fim é feita uma análise comparativa de todos os trajetos.

5.2.1 Trajeto 1: Solum – Praça da República

Este percurso apresenta larguras da via confortáveis e iluminação total em todos os troços. Verifica-se a existência de bermas e passeios, evitando interações inesperadas entre peões e veículos. Em termos de tráfego observa-se alguma intensidade, nomeadamente na zona da Solum, na interseção que liga a avenida Dom Afonso Henriques e na Praça da República.

As principais limitações deste trajeto são as interseções, pois existem em grande número ao longo de todo o trajeto. Isto pode ser observado na Figura 5.6, onde os troços com cores mais escuras coincidem com rotundas (todas de múltiplas vias) e com as interseções no início e no fim da Av. Afonso Henriques. Esses mesmos troços também implicam mudanças de via o que aumenta a sobreposição de limitações.

As marcações horizontais da via apresentam algum estado de desgaste ao longo de todo o percurso o que explica as cores alaranjadas na maioria dos troços. Existem também troços onde não há marcações – Rua Correia Teles, Rua Almeida Garrett e Praça da República, correspondendo a uma classificação do tipo 2 no critério A.2 – Estado das marcações horizontais.

Salienta-se a falta de estudos sobre o efeito de pavimentos revestidos a seixo no desempenho dos VAs, no entanto sabe-se que neste tipo de pavimentos as marcações horizontais são geralmente inexistentes e poderá não haver uma separação visível entre a via e a berma.

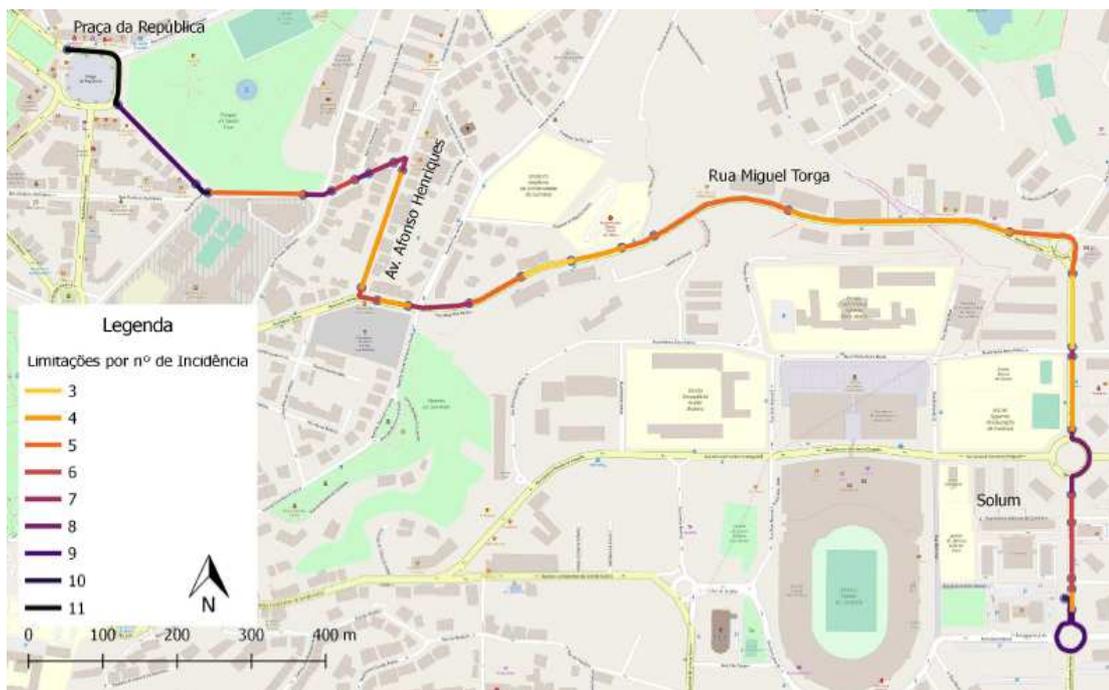


Figura 5.6 - Trajeto 1 – Solum – Praça da República. Quantificação das possíveis limitações. O tráfego pedonal é significativo, contudo a existência de passeios com dimensões adequadas e passadeiras em número suficiente, permite concluir que a interação entre o peão e o VA não será problemática.

A Figura 5.7 mostra um gráfico circular representativo do peso que cada critério tem na totalidade das limitações do trajeto. Foi feito um somatório das avaliações de cada critério e dividiu-se este valor pelo somatório da totalidade das avaliações, de todos os critérios, do percurso.

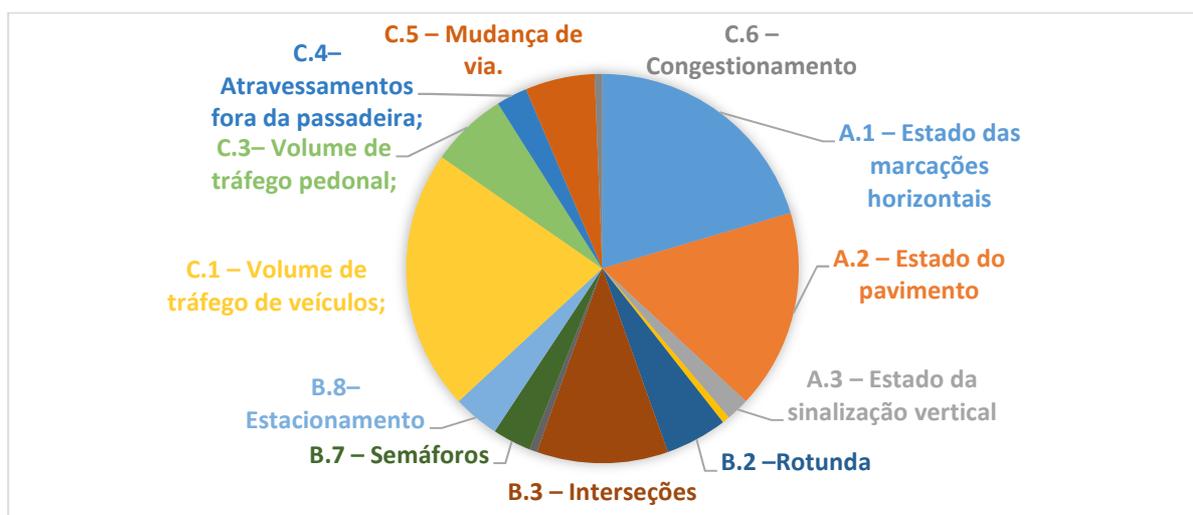


Figura 5.7 Relevância de cada critério no trajeto 1.

Assim, sumariando a análise em termos de famílias de critérios na Figura 5.8, verifica-se que a maioria das limitações identificadas neste percurso se deve ao estado de conservação da via

pública e às condições de circulação, devidas particularmente à intensidade de tráfego automóvel ser moderada em todo o percurso e intensa em alguns troços.



Figura 5.8 – Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 1.

5.2.2 Trajeto 2: Rua Martins de Carvalho– Sé Velha – Portagem (Av. Emídio Navarro)

Este trajeto apresenta uma elevada sobreposição de limitações, como se esperava (Figura 5.10). O pavimento em todos os troços é à base de seixo rolado, não existindo marcações horizontais na via.

O perfil transversal apresenta maioritariamente uma largura de via muito reduzida o que força os veículos a circular muito próximo dos veículos estacionados ou dos edifícios envolventes. Existem também troços com viragens muito apertadas.

Quanto ao tráfego pedonal, a via não dispõe de passeios nem de passagens para peões. Isto implica uma partilha da estrada entre os veículos e os peões que se pode traduzir na geração de alguns conflitos.

Salienta-se a inserção na avenida Emídio Navarro – o VA terá de transitar de uma via com pavimento de seixos sem marcações, para a avenida, num ponto de interseção com semáforos, múltiplas vias e tráfego elevado. Esta transição faz-se passando pelo largo da portagem que apresenta um tráfego pedonal elevado, sem marcações horizontais.

Os troços mais críticos, representados por uma cor preta (Figura 5.9) são o largo da Sé Velha, o Largo Anthero Alte da veiga e o largo da Portagem. Isto justifica-se pela sobreposição de limitações: o largo da Sé Velha e o largo da Portagem apresentam um tráfego pedonal elevado e uma partilha da via entre veículos e peões. Para além disso, os três troços constituem interseções do tipo Y.

Os troços de cor mais clara apresentam uma largura de via razoável ao invés de muito estreita, e o troço amarelo (rua da Couraça Estrela) apresenta-se como sendo o menos desfavorável. Ali existe passeio de um lado da estrada, trata-se de um troço em linha reta com largura da via razoável.

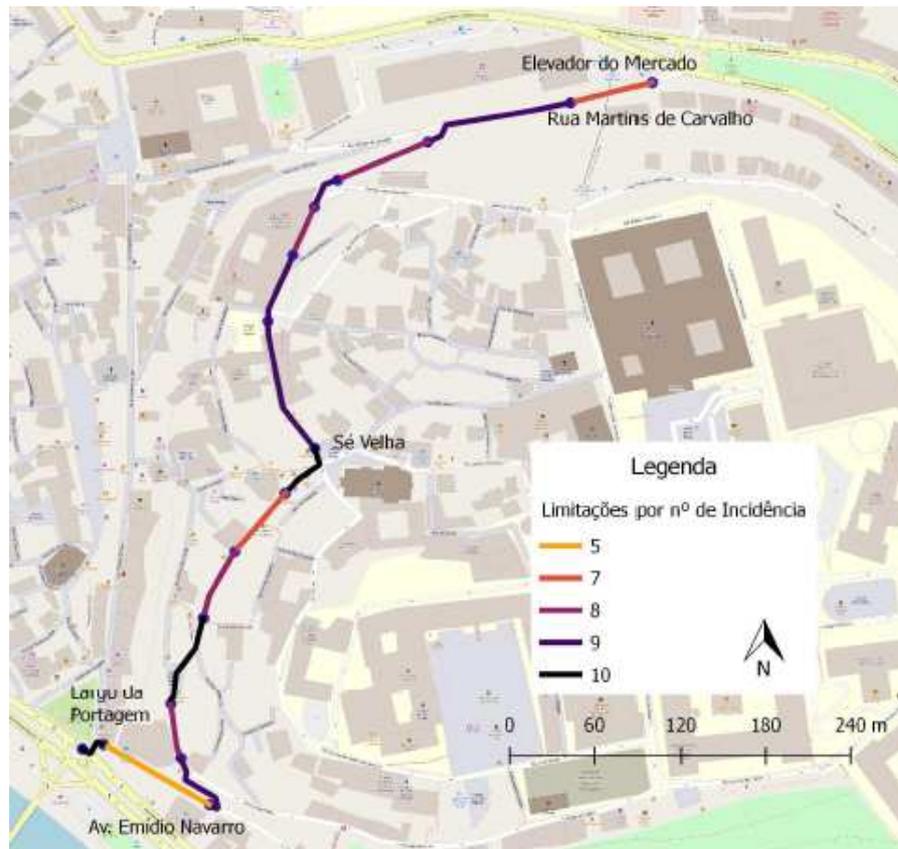


Figura 5.9 - Trajeto 2 –Rua Martins de Carvalho – Largo da Sé Velha – Portagem (Av. Emídio Navarro). Quantificação das possíveis limitações.

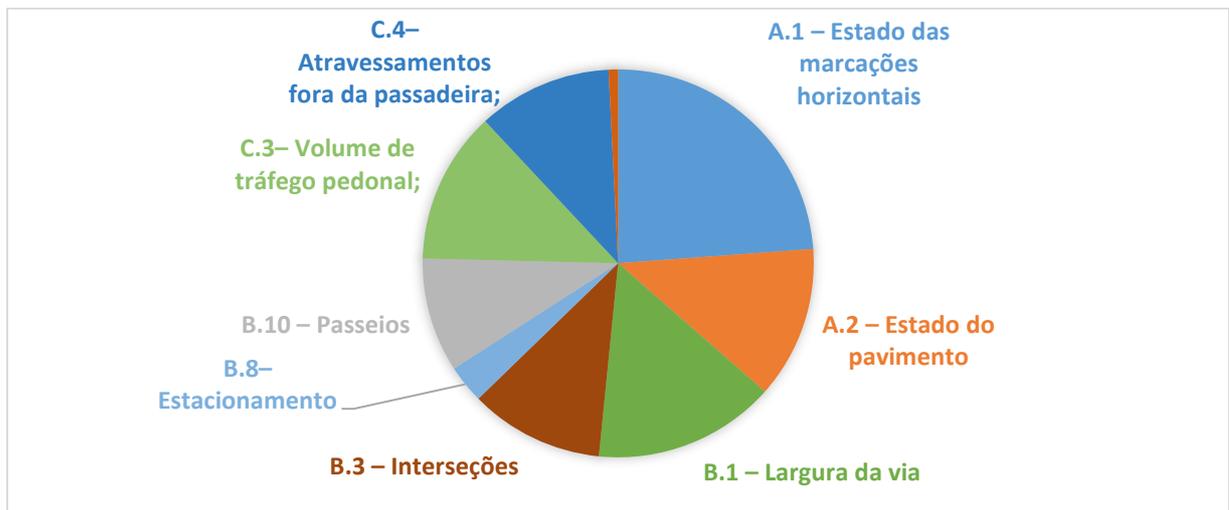


Figura 5.10 - Relevância de cada critério no trajeto 2.

A Figura 5.11 mostra que as principais limitações do trajeto 2 se devem ao estado de conservação da via pública, essencialmente pela falta de marcações horizontais, a par com as características do traçado da via justificado pela existência de vias muito estreitas na maioria do percurso.

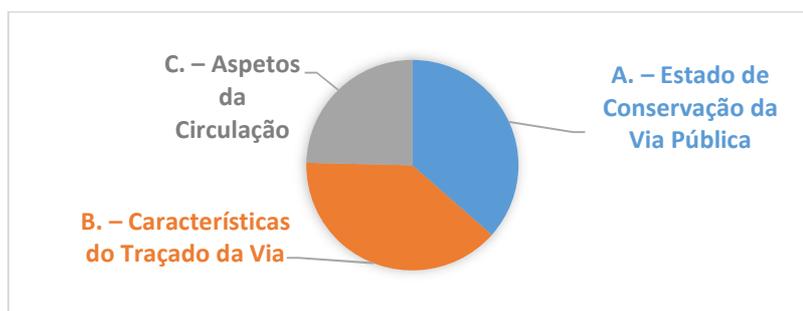


Figura 5.11 - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 2.

5.2.3 Trajeto 3: Rua dos Covões – Rua da Fontinha

O seguinte trajeto desenvolve-se ao longo de uma área residencial. Caracteriza-se por integrar vias estreitas essencialmente na segunda metade. Este aspeto do traçado da via, juntamente com o elevado número de interseções e a falta de estacionamento formalmente delimitado e marcado torna a “família de critérios” B como sendo a mais marcante (Figura 5.14). A degradação do pavimento e das marcações horizontais da via também são limitações identificadas neste trajeto. Estas últimas são inexistentes em mais de 2/3 do percurso.

A iluminação é descontínua, assim como a sinalização vertical que também se encontra algo degradada/ obstruída por vegetação em alguns pontos.

Em termos de interação com peões, salienta-se uma falta de passeios em cerca de metade dos troços. Este facto, aliado à falta de passadeiras, implica uma predominância de circulação dos peões na berma da estrada.

Na Figura 5.13, pode-se observar que o peso de cada critério diferente de zero é semelhante, havendo ainda assim destaque para o estado de conservação das marcações horizontais (17%) estado do pavimento (14%), seguido da largura da via (11%) mas também a degradação das marcações horizontais, existência de interseções e a falta de iluminação.

A Figura 5.12 evidencia a cor mais escura os troços onde o VA terá mais suscetibilidade de falhar no sistema autónomo. Salienta-se o troço a cor preta, Rua 1º de Maio, imediatamente anterior à Rua da Fontinha. Nesta rua, o pavimento encontra-se razoável (apresenta tonalidades diferentes), as marcações horizontais são inexistentes, a via apresenta uma largura estreita, existe ainda uma interseção em Y com a rua Francisco Augusto dos Reis. Os veículos estacionam sem marcações oficiais, na berma (quando existe). À semelhança do que se verifica em muitos segmentos deste percurso, não existem passeios.

A rua da Fontinha já apresenta largura de via superior, passeio, e melhores condições de conservação do pavimento e das marcações horizontais.

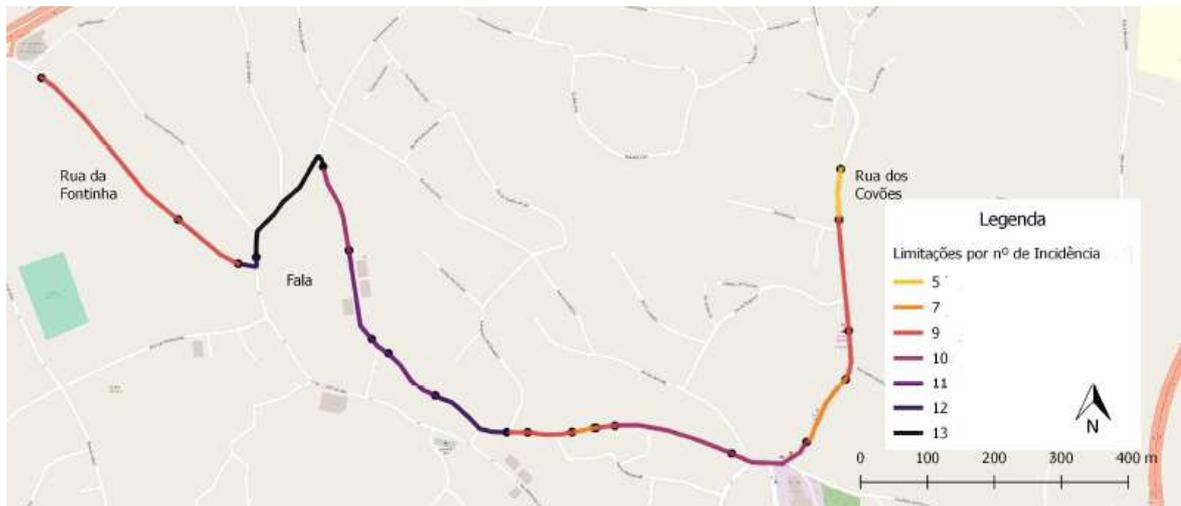


Figura 5.12 - Trajeto 3 – Rua dos Covões – Rua da Fontinha. Quantificação das possíveis limitações.

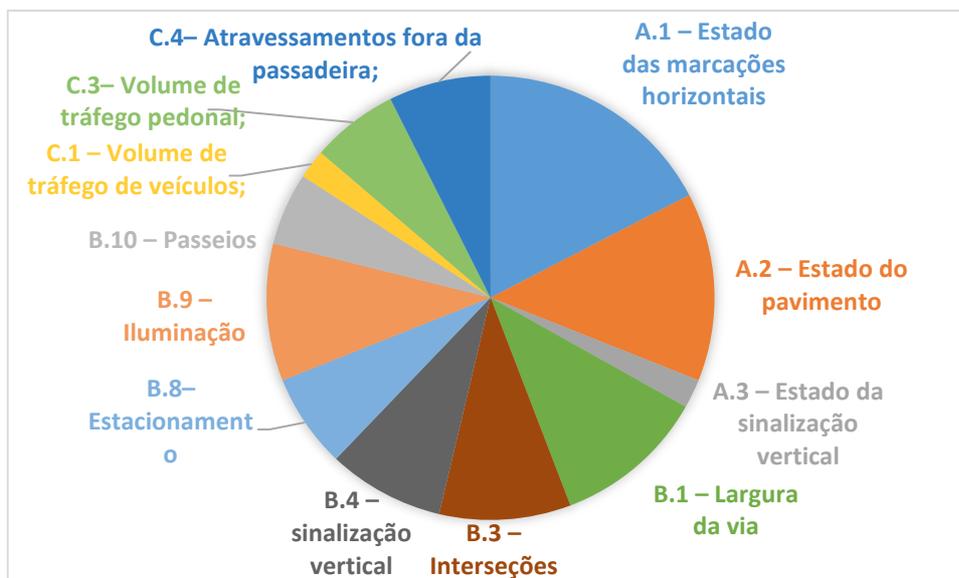


Figura 5.13 - Relevância de cada critério no trajeto 3.

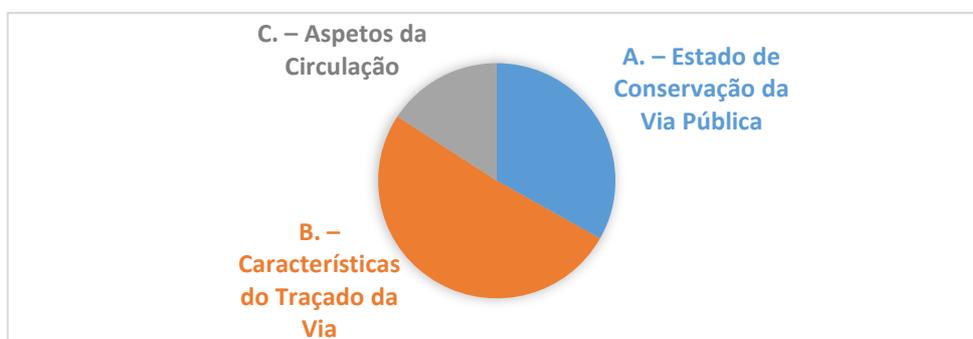


Figura 5.14 - Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 3.

5.2.4 Trajeto 4: São Silvestre – Geria

As principais limitações à circulação dos VAs identificadas deste trajeto são ao nível da degradação das marcações horizontais e da ausência de iluminação (só as principais interseções se encontram iluminadas), como pode ser interpretado na Figura 5.17 . Os restantes critérios revelam-se, maioritariamente não problemáticos ao longo do trajeto, à exceção da existência de algumas interseções, identificáveis na Figura 5.15 como sendo os troços que apresentam cores mais escuras.

Salientam-se os três segmentos a cores mais escuras: identificados no mapa como: Largo 1º de Maio 4, São João do Campo; R. Cel. António Elizeu 54, São João do Campo e Urbanização São Silvestre 36, São Silvestre. Aqui existe uma sobreposição de limitações, nomeadamente marcações horizontais degradadas, estado do pavimento razoável e degradado no segundo troço. Nestes segmentos encontram-se também metade das interseções do trajeto.

Ainda assim este é o trajeto com o menor número de incidência dos critérios que estabelecem a viabilidade da circulação dos VAs, apresentando uma média de 4,0 limitações por quilómetro percorrido. Sendo o conjunto A.- Estado de Conservação da Via Pública o mais limitante (Figura 5.16).

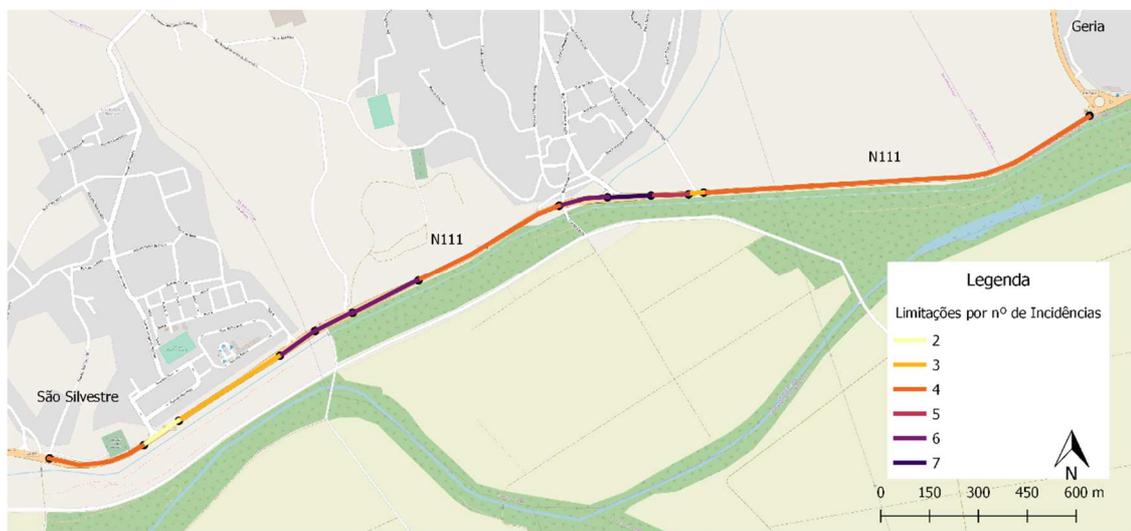


Figura 5.165 - Trajeto 4 – N111 – Saída para Geria – Saída para São Silvestre. Quantificação das possíveis limitações.



Figura 5.156 Relevância de cada “família de critérios” no trajeto 4.

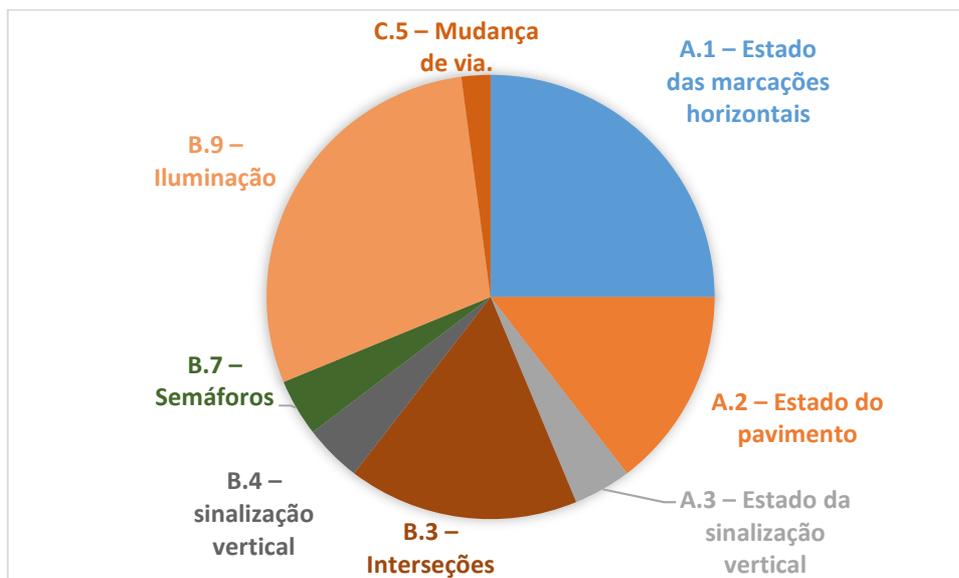


Figura 5.17 - Relevância de cada critério no trajeto 4.

5.2.5 Trajeto 5: São Frutuoso – Ceira

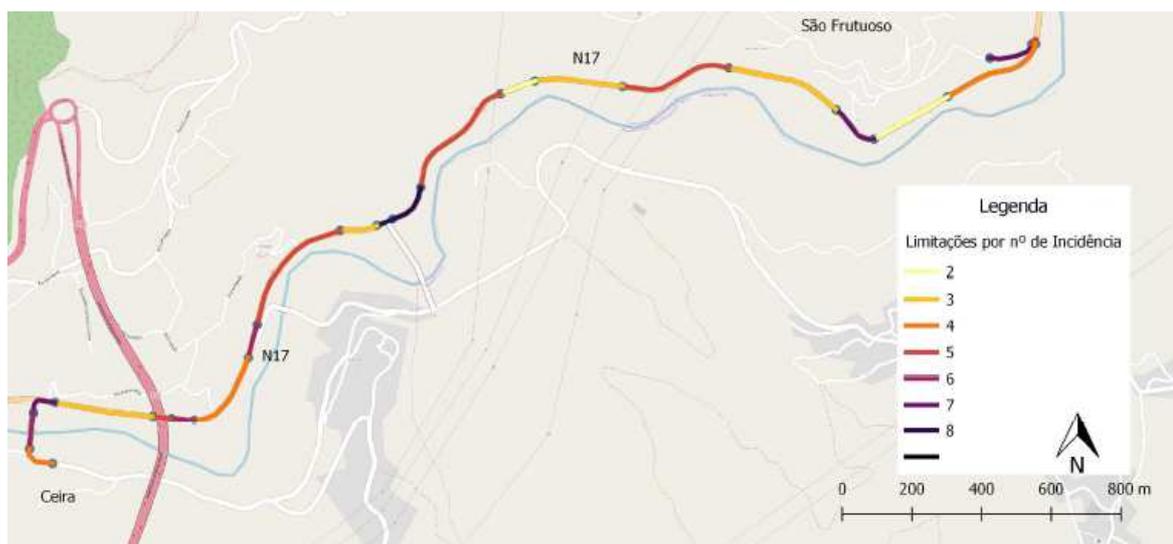


Figura 5.18 - Trajeto 1 – N17 – São Frutuoso - Ceira. Quantificação das possíveis limitações.

Este trajeto apresenta uma elevada heterogeneidade em termos de conservação da via. Salienta-se uma degradação também ao nível da sinalização vertical— no período noturno as propriedades refletoras estavam desgastadas em vários pontos. Estas limitações traduzem-se num peso percentualmente maioritário, conforme indicado na Figura 5.20.

Na Figura 5.19 pode-se observar alguma degradação da sinalização vertical. A existência de passeio observou-se ser descontinuada, este fator, aliado ao facto de o trajeto 5 atravessar pequenas povoações com tráfego pedonal não nulo explica os troços mais escuros da Figura 5.18. nestes troços também se localizam as interseções mais importantes do trajeto.

O primeiro troço apresenta igualmente uma cor escura justificada pelo facto de ser uma via muito estreita onde não é possível dois veículos se cruzarem. Verificaram-se ainda alguns pontos onde a iluminação estava instalada, mas não se encontrava em funcionamento.

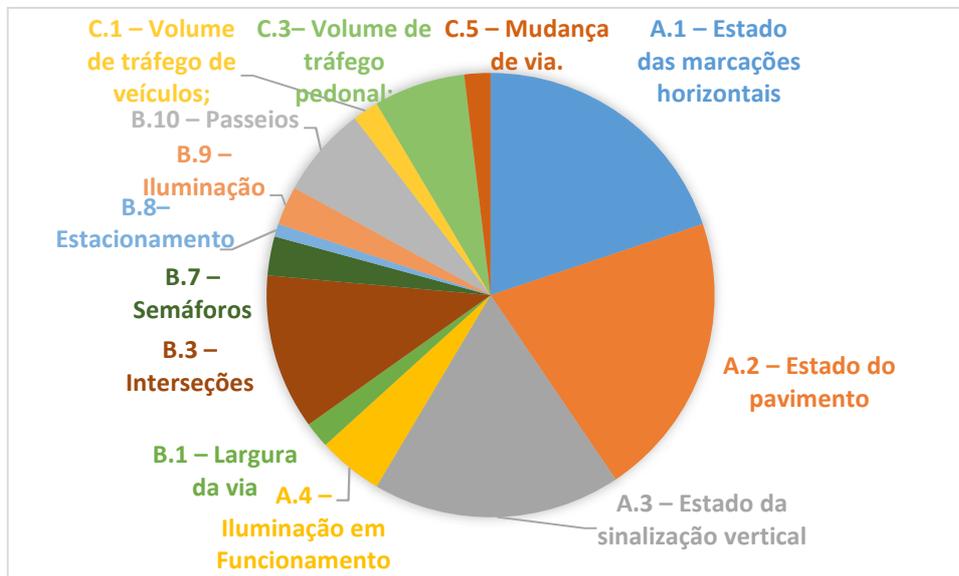


Figura 5.19 – Relevância de cada critério no trajeto 5.

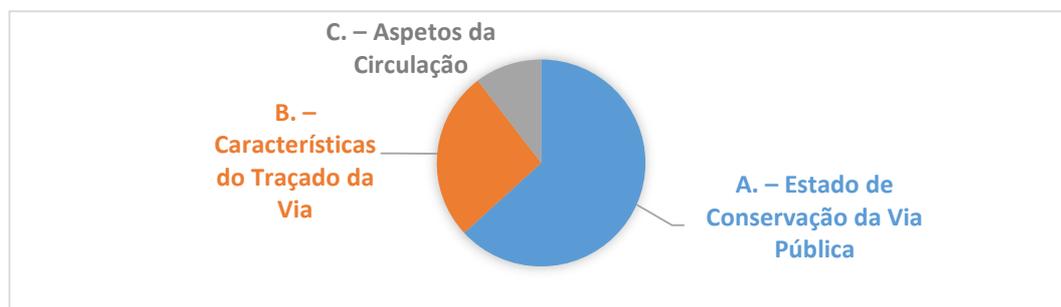


Figura 5.20 - - Relevância de cada "família de critérios" no trajeto 5.

5.3 Discussão

A Figura 5.21 representa a média de critérios diferentes de zero, calculada ponderando os quilómetros percorridos em cada trajeto. Como seria previsível, os trajetos 4 e 5 são os que apresentam uma maior compatibilidade com a circulação de VAs. Ambos integram estradas nacionais, o que se reflete numa melhor qualidade de manutenção da via, fraca interação com os peões, larguras de vias mais adequadas e, sobretudo, uma menor frequência de interseções que podem exigir alguma interação entre veículos.

Tendo por base o mesmo princípio, os trajetos 2 e 3 são os mais problemáticos. Isto explica-se pelo facto de as vias serem essencialmente estreitas e muitas vezes sem marcações horizontais. Estes trajetos respondem prioritariamente a funções de acesso ao invés de função de circulação

como se observa nas vias arteriais e distribuidoras principais. Assim, a interação com peões é mais elevada nos trajetos 2 e 3, o que pode causar problemas de interação entre os utilizadores da via.

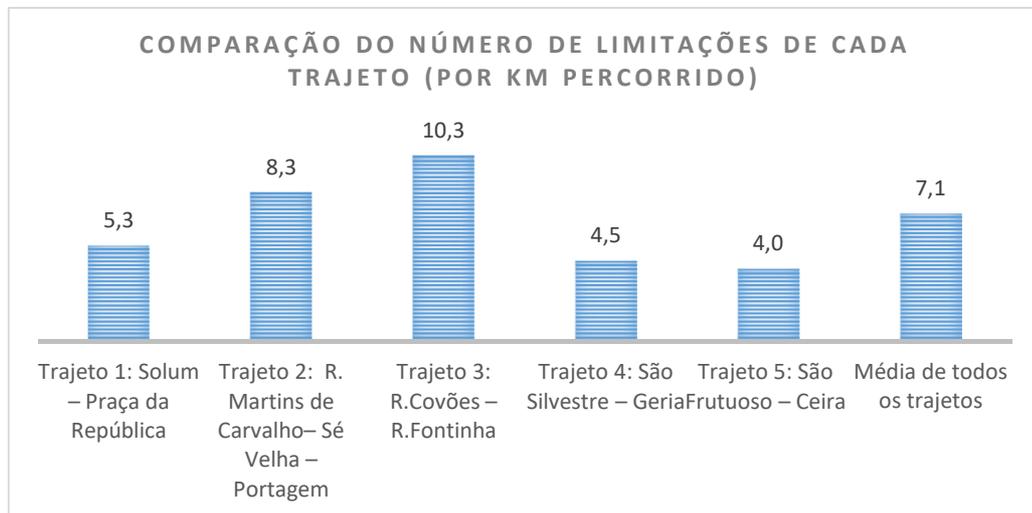


Figura 5.21 - Média de ocorrência de limitações em cada trajeto.

Na Figura 5.23 foi feita uma análise da incidência de cada “família de critérios” sobre o conjunto de todos os trajetos em estudo. Esta observação é útil na medida em que se pode concluir que o estado de conservação da via pública tem um peso significativo na viabilidade da rede viária à circulação de VAs, a par com o próprio traçado da via. A grande fatia representativa do estado de degradação da via pública reflete um desleixo ao nível da manutenção, principalmente em zonas mais afastadas dos centros urbano principais, como é o caso do trajeto 3 (Covões- Rua da Fontinha) e o trajeto 5 (N17 – Ceira).

Em todos os trajetos observou-se um peso significativo ao nível da degradação das marcações horizontais e do pavimento. A Figura 5.22 evidencia essa questão, mostrando que são estes dois critérios que mais se repetem ao longo dos quilómetros, no conjunto dos trajetos analisados.

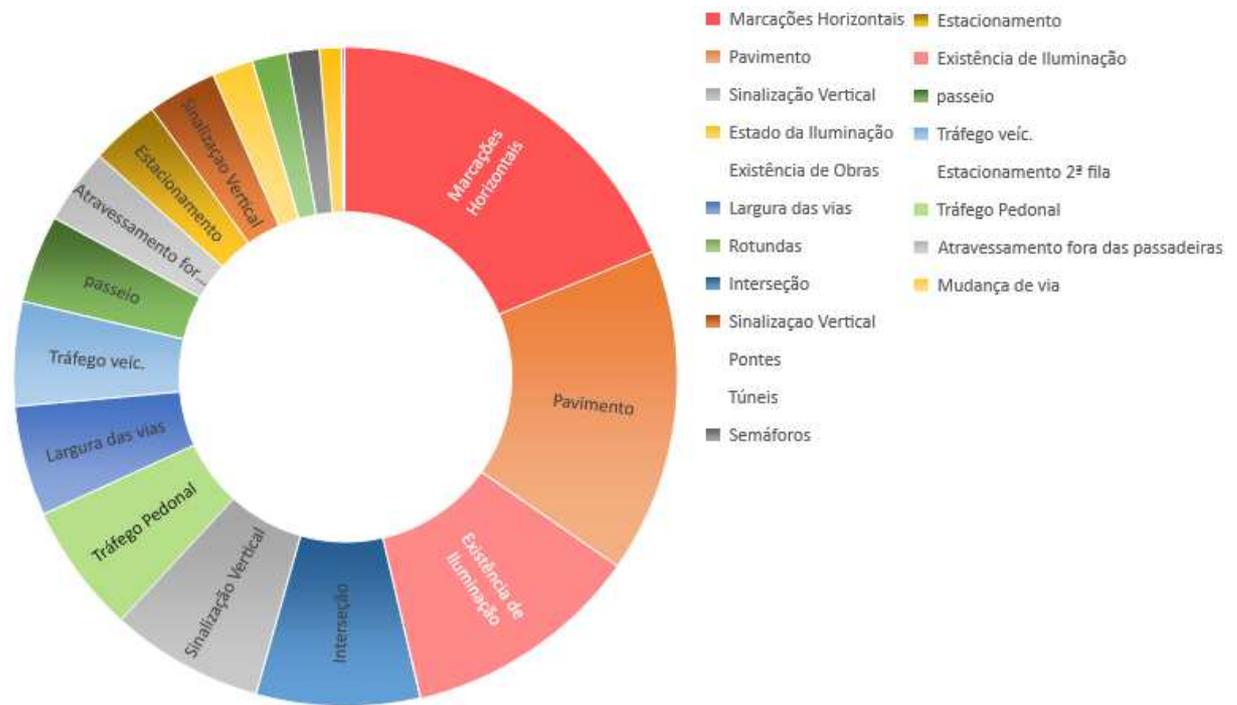


Figura 5.22 – Número de Incidência de cada critério por quilómetro percorrido, para a totalidade dos percursos.

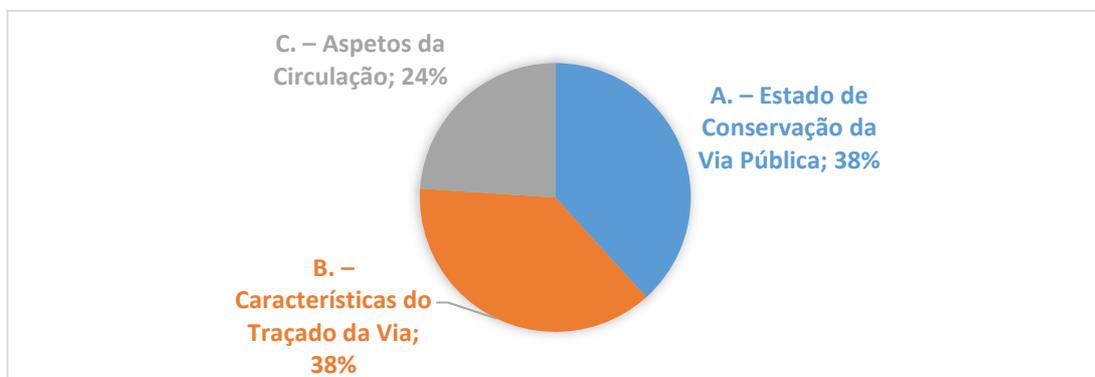


Figura 5.23 – Análise global da incidência de cada “família de critérios”.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Apesar dos avanços tecnológicos levados a cabo pelos grandes fabricantes automóvel ainda é incerto prever quando ocorrerá uma utilização generalizada dos VAs pela sociedade. Para tal é necessário superar todos os obstáculos tecnológicos e não tecnológicos (Shladover e Bishop, 2015).

As limitações não tecnológicas englobam a problemática da privacidade e segurança – nomeadamente a confidencialidade, integridade e acessibilidade dos sistemas de comunicação V2X (Islam *et al.*, 2018).

A questão da ética também é importante ser referida. Espera-se que os VAs circulem na rede pública imitando o processo humano de tomadas de decisões. A possibilidade de ocorrência de situações em que a simples aplicação das normas de tráfego não seja suficiente, o VA tem de ter a capacidade para avaliar, em todas as situações de conflito eminente qual a melhor solução e decisão a adotar (Maurer *et al.*, 2018).

Ainda nos termos das limitações não tecnológicas, a questão do sistema legal terá de ser repensada. Existe uma pressão, da parte das fabricantes de VAs, para a criação de um regulamento que permita a realização de testes em meio urbano. Para além das questões de segurança, uma intervenção política de apoio também é um fator que poderá influenciar o processo do desenvolvimento desta tecnologia (Maurer *et al.*, 2018).

Os obstáculos mais em foco nesta dissertação passam pelo potencial tecnológico e, sobretudo, pela viabilidade da infraestrutura viária. Neste último ponto, concluiu-se uma evidente necessidade de melhoria e adaptação, em especial nos meios urbanos. (Shladover e Bishop, 2015) sugerem: (i) Padronização da gestão e manutenção da infraestrutura, este aspeto revelou-se marcante no estudo de caso; (ii) Alterações na infraestrutura para garantir uma trajetória sem obstáculos exteriores ou até vias segregadas, diminuindo assim o número de possíveis conflitos; (iii) Comunicações V2V e V2I de dados relevantes à condução para uma melhor interação com os restantes utilizadores da via; (iv) Melhoria das marcações das vias, iluminação e sinalização de modo a se garantir uma boa interpretação do meio envolvente ao VA e (v) Infraestrutura digital da rede viária, tais como mapas ou outras bases de dados estáticas sobre a envolvente e informação dinâmica como dados a tempo real acerca de corte de estradas,

obras, acidentes e situação do tráfego para conseguir um melhor planeamento dos percursos.

Em termos tecnológicos Van Brummelen *et al* (2018) salientam as dificuldades a ultrapassar para se alcançar o potencial de uma condução totalmente autónoma. Nomeadamente: (i) Perceção em condições atmosféricas e de iluminação, que prejudiquem a visibilidade; (ii) Condução autónoma sem a depender da aquisição de dados de perceção à priori; (iii) Perceção em ambientes urbanos complexos e (iv) Desenvolvimento de medidas de segurança para casos de falhas nos sensores ou má interpretação.

O estado de arte reunido na presente dissertação permitiu uma melhor perceção do novo modo de transporte que os VAs representam, as possíveis implicações na sociedade e as limitações ainda a ultrapassar. Estas últimas, identificadas no estudo de caso, verificaram-se muito recorrentes em meio urbano. Este meio complexo requer, muitas vezes, interações complexas entre os vários utilizadores da via.

A condução autónoma elimina os riscos associados aos erros humanos, como é o caso da condução sob o efeito de álcool ou distração do condutor quando fala ao telemóvel. No entanto, para que esta tecnologia seja fiável, paralelamente ao já existente auto-piloto na aviação, existem ainda vários obstáculos que terão de ser necessariamente ultrapassados.

6.2 Trabalhos futuros

Apesar de existirem vários estudos sobre a viabilidade de circulação dos veículos autónomos em meio urbano, esta ainda é uma área que requer mais investigação. Denota-se uma necessidade de reflexão sobre as situações mais complexas da circulação. Existem ainda muitas situações onde as normas são deixadas ao bom senso dos condutores, como por exemplos parques de estacionamento não delimitados por marcações horizontais, inconsistência da sinalização, vias estreitas onde é necessária negociação, etc.

Assim sugere-se uma avaliação mais exaustiva em todos os aspetos do dia-a-dia de condução em meio urbano, onde se verifica uma maior interação entre utilizadores e sobretudo, em situações em que a via pública não apresente condições ótimas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, E. (2018) *HYUNDAI'S SELF-DRIVING CAR MASTERS THE OH-SO-HUMAN ROUNDABOUT*, *Wired Transportation*. Disponível em: <https://www.wired.com/story/hyundai-nexo-hydrogen-fuel-cell-self-driving/> (Acedido: 4 de Dezembro de 2018).
- Arbib, J. e Seba, T. (2017) *A RethinkX Sector Disruption Report*. Disponível em: www.rethinkx.com.
- ASECAP - Association Européene des Concessionnaires d'Autoroutes et d'Ouvrages à Péage (2016) *Position Paper on Connected and Automated Driving*.
- AutomotiveSupplyChain.org (2018) *Daimler testing platooning technology for more truck efficiency in Japan*. Disponível em: <http://automotivesupplychain.org/supply-chain/daimler-now-testing-platooning-technology-for-more-truck-efficiency-also-in-japan/> (Acedido: 9 de Novembro de 2018).
- Bloomberg Philanthropies e The Aspen Institute (2017) *Taming the Autonomous Vehicle: A Primer for Cities*. Long Island City, NY.
- Broggi, A., Cerri P, Debattisti S, Laghi MC, Medici P, Panciroli M, Prioletti, A., (2014) «PROUD – Public ROad Urban Driverless test: architecture and results», em *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Dearborn, Michigan, USA.
- Van Brummelen, J., O'Brien M, Gruyer D, Najjaran H. (2018) «Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow», *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier, 89(July 2017), pp. 384–406. doi: 10.1016/j.trc.2018.02.012.
- Cao, P., Hu Y, Miwa T, Wakita Y, Morikawa T, Liu X (2017) «An optimal mandatory lane change decision model for autonomous vehicles in urban arterials», *Journal of Intelligent Transportation Systems*. Taylor & Francis, 21(4), pp. 271–284. doi: 10.1080/15472450.2017.1315805.
- car2go Group GmbH (2018) «2018 Free-floating Carsharing Made Easy: How car2go Works», pp. 2–4.
- Carneiro, C. (2016) *Beacon: o que é e quais suas utilizações mais inusitadas*. Disponível em: <https://usemobile.com.br/conheca-beacon/> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).

- Catapult Transport Systems UK (2017) *Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated Vehicles*. Disponível em: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.ts.catapult/wp-content/uploads/2017/04/25115313/ATS40-Future-Proofing-Infrastructure-for-CAVs.pdf>.
- Company, F. M. (2017) *Looking Further*. Disponível em: <https://corporate.ford.com/innovation/autonomous-2021.html> (Acedido: 9 de Novembro de 2018).
- Daimler AG (2017a) *Autonomous concept car smart vision EQ fortwo: Welcome to the future of car sharing*. Disponível em: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Autonomous-concept-car-smart-vision-EQ-fortwo-Welcome-to-the-future-of-car-sharing.xhtml?oid=29042725> (Acedido: 10 de Dezembro de 2018).
- Daimler AG (2017b) *On the road in self-driving vehicles*. Disponível em: <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/special/changes.html> (Acedido: 11 de Outubro de 2018).
- Dey, D. e Terken, J. (2016) «Pedestrian Interaction with Vehicles: Roles of Explicit and Implicit Communication», em *9th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. Oldenburg, Germany. doi: 10.1145/3122986.3123009.
- Direcção-Geral das Obras Públicas e Gestão das Águas da Holanda (2016) *European Truck Platooning Challenge 2016*.
- Dixit, V, Chand, S. e Nair, D. J. (2016) «Autonomous Vehicles : Disengagements , Accidents and Reaction Times», pp. 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0168054.
- Edward J. Markey (2015) *Tracking & Hacking : Security & Privacy Gaps Put American Drivers at Risk, Senator Edward J. Markey (D-Massachusetts)*.
- Eindhoven University of Technology (2017) *Autonomous driving on roundabouts*. Disponível em: <https://medium.com/@TUEindhoven/autonomous-driving-on-roundabouts-68d70999ae5e>.
- Eliot, L. (2017) *Solving the Roundabout Traversal Problem for Self-Driving Cars*. Disponível em: <https://aitrends.com/ai-insider/solving-roundabouts-traffic-circle-traversal-problem-self-driving-cars/> (Acedido: 4 de Dezembro de 2018).
- Endsley, M. R. (2017) «Autonomous Driving Systems: A Preliminary Naturalistic Study of the Tesla Model S», *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 11(3), pp. 225–238. doi: 10.1177/1555343417695197.
- EuroRAP e Euro NCAP (2014) *Roads that cars can read*. Disponível em:

- http://www.erf.be/images/RAINVISION/6._SS_Rainvision_March_2015.pdf.
- EuroRAP e Euro NCAP (2018) *Roads that Cars Can Read: Tackling the Transition to Automated Vehicles*.
- Fagnant, D. J. e Kockelman, K. (2015) «Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 77, pp. 167–181. doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.
- Fagnant, D. J. e Kockelman, K. M. (2014) «The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios», *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 40, pp. 1–13. doi: 10.1016/j.trc.2013.12.001.
- Ferreira, S. (2018) *Primeiro transporte público não tripulado do país chega em 2019 a Viseu*, *Jornal de Notícias*. Disponível em: <https://www.jn.pt/local/noticias/viseu/viseu/interior/viriato-eletrico-e-autonomo-substitui-funicular-em-viseu-9251867.html> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Flemming, B., Gill V, Godsmark P, Kirk B.. (2015) *Automated Vehicles: The Coming of the Next Disruptive Technology*, *The Conference Board of Canada*. Disponível em: http://www.conferenceboard.ca/temp/0887db5a-0135-44bf-8958-f263b092bf03/6744_automatedvehicles-rpt.pdf.
- Forster, A. (2018) *Autonomous vehicles 'could weaken case for roundabouts'*, *TransportXtra*. Disponível em: <https://www.transportxtra.com/publications/local-transport-today/news/58209/autonomous-vehicles-could-weaken-case-for-roundabouts/> (Acedido: 4 de Dezembro de 2018).
- Gasser, T. M. (2014) *Vehicle Automation : Definitions , legal aspects , research needs Report of the BASt-Expert-group* : Brussels.
- General Motors Inc. (2018) «2018 Self-Driving Safety Report», *GM Safety Report*, p. 33. Disponível em: http://www.gm.com/content/dam/gm/en_us/english/selfdriving/gmsafetyreport.pdf.
- Glancy, D. J. (2015) «Autonomous and Automated and Connected Cars — Oh My! First Generation Autonomous Cars in the Legal Ecosystem», *Minnesota Journal of Law, Science and Technology*, 16(2), pp. 619–691.
- Glancy, D. J., Peterson, R. W. e Graham, K. F. (2015) «A Look at the Legal Environment for Driverless Vehicles». doi: 10.17226/23453.
- Global Market Insights (2018) *Car Sharing Market Trends - Global 2018-2024 Industry Size Report*. doi: ID: GMI719.
-

- Google (2015) *Google Self-Driving Car Testing Report on Disengagements of Autonomous Mode December 2015*.
- Goswami, A. (2015) *Trajectory generation for lane-change maneuver of autonomous vehicles*. Purdue University. Disponível em: <http://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI1597749%5Cnhttp://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI1597749/>.
- Gov.uk (2019) *Government moves forward on advanced trials for self-driving vehicles*. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/news/government-moves-forward-on-advanced-trials-for-self-driving-vehicles> (Acedido: 6 de Fevereiro de 2019).
- Gucwa, M. A. (2014) «Mobility and Energy Impacts of Automated Cars», em *2014 Automated Vehicle Symposium*.
- Ho, M. L., Chan, P. T. e Rad, A. B. (2009) «Lane change algorithm for autonomous vehicles via virtual curvature method», *Journal of Advanced Transportation*, 43(1), pp. 47–70. doi: 10.1002/atr.5670430104.
- Hyatt, K., Paukert, C. e CHRIS PAUKERT (2018) *Self-driving cars: A level-by-level guide of autonomous vehicles - Roadshow*. Disponível em: <https://www.cnet.com/roadshow/news/self-driving-car-guide-autonomous-explanation/> (Acedido: 8 de Novembro de 2018).
- Infrastructure Partnerships Australia (2017) «Automated Vehicles: Do we know which road to take?»
- International Transport Forum (2018) *Safer roads with automated vehicles?* Disponível em: <https://trid.trb.org/View/1516971>.
- Islam, M., Chowdhury M, Li H, Hu H, Board TR (2018) «Cybersecurity Attacks in Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Applications and Their Prevention», *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 7656, p. 22p. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/1497289>.
- J Dragt, B., Craig, I. e Camisani-Calzolari, F. (2003) «NAVIGATION OF AUTONOMOUS UNDERGROUND MINE VEHICLES», *1st Afr. Control Conference*.
- Johnson, C. (2017) *Readiness of the road network for connected and autonomous vehicles*, *RAC Foundation -Royal Automobile Club for Motoring Ltd*. Disponível em: http://www.racfoundation.org/assets/rac_foundation/content/downloadables/CAS_Readiness_of_the_road_network_April_2017.pdf.
- JTC Corporation (2019) *NTU, LTA and JTC unveil Singapore's first autonomous vehicle*

- test centre*. Disponível em: [https://www.jtc.gov.sg/news-and-publications/press-releases/Pages/20171122\(PR1\).aspx](https://www.jtc.gov.sg/news-and-publications/press-releases/Pages/20171122(PR1).aspx).
- KPMG International (2018) *Autonomous Vehicles Readiness Index, Autonomous Vehicles Readiness Index*.
- Lagström, T. e Lundgren, V. M. (2015) *AVIP - Autonomous vehicles ´ interaction with pedestrians An investigation of pedestrian-driver communication and*. Chalmers University of Technology.
- Land Transport Authority SG (2015) *NTU, LTA and JTC unveil Singapore’s first autonomous vehicle test centre*. Disponível em: <https://www.lta.gov.sg/apps/news/page.aspx?c=2&id=e6dc5dff-8892-4f7f-9a3e-c89d29c0642c> (Acedido: 6 de Dezembro de 2018).
- Li, B. e Shao, Z. (2015) «A unified motion planning method for parking an autonomous vehicle in the presence of irregularly placed obstacles», *Knowledge-Based Systems*. Elsevier B.V., 86, pp. 11–20. doi: 10.1016/j.knosys.2015.04.016.
- Litman, T. (2018) «Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning», *Victoria Transport Policy Institute*, (24 April 2018), pp. 1–35. doi: 10.1613/jair.301.
- Lunden, I. (2017) *Renault-Nissan lays out plans for 12 new EVs and ‘robo’ global ride-hailing service*. Disponível em: <http://tcn.ch/2ybxemk> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Lusa (2010) *Robótica e automação em destaque em Coimbra, Jornal Público*. Disponível em: <https://www.publico.pt/2010/09/07/tecnologia/noticia/robotica-e-automacao-em-destaque-em-coimbra-1454654#gs.PquJkeYr> (Acedido: 10 de Dezembro de 2018).
- Lv, C., Cao D, Zhao Y, Auger DJ, Wang H, Dutka LM., Skrypchuk, L., e Mouzakitis, A.(2018) «Analysis of Autopilot Disengagements Occurring During Autonomous Vehicle Testing», *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 5(1), pp. 58–68. doi: 10.1109/JAS.2017.7510745.
- Madrigal, A. C. (2017) *Inside Waymo’s Secret World for Training Self-Driving Cars, The Atlantic*. Disponível em: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2017/08/inside-waymos-secret-testing-and-simulation-facilities/537648/> (Acedido: 22 de Novembro de 2018).
- Mairs, J. (2017) *Umbrellium develops interactive road crossing that only appears when needed, Dezeen*. Disponível em: <https://www.dezeen.com/2017/10/12/umbrellium-develops-interactive-road-crossing-that-only-appears-when-needed-technology/> (Acedido: 10 de Dezembro de 2018).

- Manuel, A. (2016) *Pelotão de camiões em marcha com condução semiautónoma*. Disponível em: <https://www.tveuropa.pt/noticias/pelotao-de-camioes-em-marcha-com-conducao-semiautonomas/> (Acedido: 9 de Novembro de 2018).
- Matowicki, M., Pribyl, O. e Pribyl, P. (2016) «Analysis of possibility to utilize road marking for the needs of autonomous vehicles», em *Smart Cities Symposium Prague 2016*, p. 6.
- Maurer, M., Gerdes JC, Lenz B, Winner H. (2018) *Autonomous Driving -Technical, Legal and Social Aspects*. doi: 10.1108/9781787148338.
- Milakis, D., Van Arem, B. e Van Wee, B. (2017) «Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research», *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. Taylor & Francis, 21(4), pp. 324–348. doi: 10.1080/15472450.2017.1291351.
- Milger, H. e Gillgren, S. (2015) «Simulation of autonomous vehicles in an urban environment An investigation on how basic models can create a realistic result». Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:815681/FULLTEXT01.pdf>.
- Millard-Ball, A. (2018) «Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities», *Journal of Planning Education and Research*, 38(1), pp. 6–12. doi: 10.1177/0739456X16675674.
- Moore, N. C. (2015) *U-M opens Mcity test environment for connected and driverless vehicles*, *University of Michigan News*. Disponível em: <https://news.umich.edu/u-m-opens-mcity-test-environment-for-connected-and-driverless-vehicles/> (Acedido: 22 de Novembro de 2018).
- Mota, L. M. (2016) *ONU autoriza veículos autónomos na Europa*, *auto.monitor*. Disponível em: <https://automonitor.pt/2016/03/30/comercio-e-industria/onu-autoriza-veiculos-autonomos-na-europa/> (Acedido: 5 de Janeiro de 2019).
- Muoio, D. (2016) *Here's why self-driving cars can't handle bridges*, *Business Insider*. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/autonomous-cars-bridges-2016-8> (Acedido: 30 de Dezembro de 2018).
- Muoio, D. (2017) *Uber built a fake city in Pittsburgh with roaming mannequins to test its self-driving cars*, *Business Insiderssinsider*. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/ubers-fake-city-pittsburgh-self-driving-cars-2017-10> (Acedido: 22 de Novembro de 2018).
- Nacto - National Association of City Transportation Officials (2017) *Blueprint for Autonomous Urbanism*.

- Ng, A. e Lin, Y. (2016) *SELF-DRIVING CARS WON'T WORK UNTIL WE CHANGE OUR ROADS—AND ATTITUD*, *Wired*. Disponível em: <https://www.wired.com/2016/03/self-driving-cars-wont-work-change-roads-attitudes/> (Acedido: 7 de Dezembro de 2018).
- Nunes, F. (2018) *Governo muda lei este ano para poder testar carros autônomos em 2019*. Disponível em: <https://eco.pt/2018/06/06/governo-muda-lei-este-ano-para-poder-testar-carros-autonomos-em-2019/> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- OECD - International Transport Forum (2015) *Urban Mobility System Upgrade: How SAVs could change city traffic, Corporate Partnership Board Report*. doi: 10.1007/s10273-016-2048-3.
- OMS (2015) *Global Status Report On Road Safety 2015*. doi: ISBN 978 92 4 156506 6.
- Parkin, J, Clark, B., Ricci, W., Miriam, C., Parkhurst, G. (2016) *Understanding interactions between autonomous vehicles and other road users: A Literature Review*. England, Bristol.
- Peng, T. (2015) *Global Survey of Autonomous Vehicle Regulations, A Medium Corporation*. Disponível em: <https://medium.com/syncedreview/global-survey-of-autonomous-vehicle-regulations-6b8608f205f9> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Pequenino, K. (2018) *Califórnia autoriza carros autônomos sem condutor ao volante, Jornal Público*. Disponível em: <https://www.publico.pt/2018/02/27/tecnologia/noticia/california-autoriza-circulacao-de-carros-autonomos-sem-condutor-ao-volante-1804631> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Pereira, J. P. e Villalobos, L. (2018) *Governo e autarquias abrem caminho a carros autônomos Principais objetivos do acordo Portugal abre caminho aos carros autônomos Principais objetivos do acordo, Jornal Público*. Disponível em: <https://www.publico.pt/2018/04/22/jornal/governo-e-autarquias-abrem-caminho-a-carros-autonomos-principais-objectivos-do-acordo-portugal-abre-caminho-aos-carros-autonomos-principais-objectivos-do-acordo-34043250> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y. e Noland, R. B. (2007) «Current map-matching algorithms for transport applications: state-of-the art and future research directions», *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 312–328.
- Rasouli, A. e Tsotsos, J. K. (2018) «Autonomous Vehicles that Interact with Pedestrians: A Survey of Theory and Practice», pp. 1–18. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1805.11773>.
-

- Research, N. (2017) *Navigant Research Leaderboard: Automated Driving Vehicles*. Disponível em: <https://www.navigantresearch.com/reports/navigant-research-leaderboard-automated-driving-vehicles> (Acedido: 11 de Fevereiro de 2018).
- Sebastian, K., Goldhammer M, Bauer S, Doll K, Brunsmann U, Dietmayer K. (2012) «Early Detection of the Pedestrian 's Intention to Cross the Street», em *15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*.
- Sezer, V., Member, TB., Rus, D., Frazzoli, E., Hsu, D.(2015) «Towards Autonomous Navigation of Unsignalized Intersections under Uncertainty of Human Driver Intent», em *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Hamburg, Germany: IEEE, pp. 3578–3585. doi: 10.1109/IROS.2015.7353877.
- Shladover, S. E. e Bishop, R. (2015) «Road Transport Automation as a Public-Private Enterprise», em *EU-US Symposium on Automated Vehicles*. Washington District of Columbia, United States: Transportation Research Board, p. pp 40-64.
- Tarada, F. (2017) «Safety of Innovative Vehicles in Tunnels», *Tunnels and Tunnelling International*, (February), pp. 37–42.
- Templeton, B. (2013) *How do self-driving cars know where to park?* Disponível em: <https://www.quora.com/How-do-self-driving-cars-know-where-to-park> (Acedido: 6 de Janeiro de 2019).
- Tournier, B. (2017) *Free Floating vs. Stationary vs. P2P: Car-sharing Technology Providers Open the Door to New Options*. Disponível em: https://www.sierrawireless.com/iot-blog/iot-blog/2017/11/free_floating_vs_stationary_vs_p2p_carsharing_technology_providers_open_the_door_to_new_options/ (Acedido: 9 de Novembro de 2018).
- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B., Phleps, P. (2016) *Autonomous Driving The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*, Ifmo- Institute for Mobility Research. doi: 10.1002/cssc.201301131.
- UNECE (2016) *UNECE paves the way for automated driving by updating UN international convention*. Disponível em: <https://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2016/unece-paves-the-way-for-automated-driving-by-updating-un-international-convention/doc.html> (Acedido: 27 de Dezembro de 2018).
- USDOT (2015) *What Are Connected Vehicles and Why Do We Need Them?* Disponível em: https://www.its.dot.gov/cv_basics/cv_basics_what.htm (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Vijayenthiran, V. (2018) *GM to comercialize Cruise AV self-driving car in 2019, Motor*

- Authority*. Disponível em:
https://www.motorauthority.com/news/1115758_goodyear-oxygene-concept-tire-cleans-the-air-as-it-rolls (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Vock, D. C. (2016) *In Preparation for Driverless Cars, States Start Upgrading Roads, Governing The States and Localities, Infrastructure & Environment*. Disponível em:
<http://www.governing.com/topics/transportation-infrastructure/gov-driverless-cars-states-infrastructure.html> (Acedido: 10 de Novembro de 2018).
- Volvo Car Group (2017) *Swedish families help Volvo Cars develop autonomous drive cars, Global Newsroom*. Disponível em:
<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/217555/swedish-families-help-volvo-cars-develop-autonomous-drive-cars> (Acedido: 20 de Novembro de 2018).
- Watkins, K. (2018) «Does the Future of Mobility Depend on Public Transportation?», *Journal of Public Transportation*, 21(1), pp. 53–59. doi: 10.5038/2375-0901.21.1.6.
- Wei, R. de S. P. D. C. M. e Júnior, E. S. da F. (2013) «VEÍCULOS AUTÔNOMOS : CONCEITOS , HISTÓRICO E ESTADO-DA-ARTE», em *XXVII Congresso de Persquisa e Ensino em Transportes*.
- Wen, W., Hsu, L.-T. e Zhang, G. (2018) «Performance Analysis of NDT-based Graph SLAM for Autonomous Vehicle in Diverse Typical Driving», *Sensors*. doi: 10.3390/s18113928.
- Zoox (2018) *Double-parked vehicles (DPVs) are everywhere in San Francisco; classifying and successfully navigating around them in realtime can be a challenge for autonomous vehicles*. Disponível em:
<https://twitter.com/zoox/status/1076509200119783424> (Acedido: 5 de Janeiro de 2018).

Tabela A.1 – Folha de Levantamento de dados.

	Localização dos nós								(...)
	Distância (m)								(...)
	Distâncias Acumuladas (m)								(...)
	número de vias								(...)
Inexistente (2) / Degradado (1) / Ótimo (0)	A.1 – Estado das marcações horizontais								(...)
Muito degradado (2) / Razoável (1) / Ótimo (0)	A.2 – Estado do pavimento								(...)
Inexistente (2) / Degradada (1) / Ótimo (0)	A.3 – Estado da sinalização vertical								(...)
Apagada (1) / Em funcionamento (0)	A.4 – Iluminação								(...)
Sim (1) / Não (0)	A.5 – Existência de Obras								(...)
Muito estreita (2) / Razoável (1) / “Confortável” (0)	B.1 – Largura da via								(...)
Não existe (0) / 1 via (1) / 2 ou mais vias (2)	B.2 – Número de vias na Rotunda								(...)
Inexistente (0) / Tipo T ou Tipo X (1) / Tipo Y (2)	B.3 – Interseções								(...)
Inexistente (2) / posicionamento inconsistente ou proximidade com outros ou Ângulo incorreto (1) / Bem colocado (0)	B.4 – sinalização vertical								(...)
Sim (1) / Não (0)	B.5 – Ponte								(...)
Sim (1) / Não (0)	B.6 – Túnel								(...)
Sim (1) / Não (0)	B.7 – Semáforos								(...)
Não Formalmente Marcado (1) / Adequado (0)	B.8 – Estacionamento								(...)
Inexistente (2) / Descontínua (1) / Iluminação total (0)	B.9 – Iluminação								(...)
Sim (1) / Não (0)	B.10 – Passeios								(...)
Fraco (0) / Moderado (1) / Intenso (2)	C.1 – Volume de tráfego de veículos								(...)
Sim (1) / Não (0)	C.2 – Estacionamento em segunda fila								(...)
Inexistente/Fraco (0) / Moderado (1) / Intenso (2)	C.3 – Volume de tráfego pedonal								(...)
Sim (1) / Não (0)	C.4 – Atravessamentos fora da passadeira								(...)
Sim (1) / Não (0)	C.3 – Mudança de via								(...)

Tabela B.1 Levantamento de dados – Trajeto 1.

Σ	C.6	C.5	C.4	C.3	C.2	C.1	B.1	B.9	B.8	B.7	B.6	B.5	B.4	B.3	B.2	B.1	A.5	A.4	A.3	A.2	A.1	Σdist	dist.	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1
9	0	1	0	1	0	1	0	0	-	1	0	0	1	-	2	0	0	0	0	1	1	170	170	2
4	0	-	0	1	0	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	198	28	3
6	0	-	0	1	-	1	0		-	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	216	18	4
6	0	0	0	1	-	1	0	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	289	73	5
6	0	0	0	1	0	1	0	0	-	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	328	39	6
8	0	1	0	1	0	2	0	0	-	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	458	130	7
3	0	0	0	0	0	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	535	77	8
6	0	0	0	0	-	1	0	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	573	38	9
2	0	1	0	0	-	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	662	89	10
4	0	1	0	0	-	1	0	0	-	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	842	180	11
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1102	260	12
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1302	200	13
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1354	52	14
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1494	140	15
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1565	71	16
4	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1705	140	17
6	0	1	0	0	0	1	0	0	-	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1801	96	18
3	0	0	0	0	0	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1852	51	19
5	0	1	0	0	0	2	0	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1885	33	20
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	1	1	2045	160	21
6	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	2089	44	22
6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2122	33	23
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	2152	30	24
5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2178	26	25
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2226	48	26
5	0	0	1	1	0	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2346	120	27
10	0	1	1	1	0	1	0	0	-	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2	2380	34	28
9	0	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2520	140	29
11	0	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	2680	160	30

Tabela C.2 – Legenda da Tabela B.1.

1	R. Joao de Deus Ramos 130	8	R. Carolina Michaelis 17, 3030-324 Coimbra	15	R. Miguel Torga 302, 3000-157 Coimbra	22	Av. Afonso Henriques 37, 3000-011 Coimbra
2	R. Joao de Deus Ramos 129, 3030-324 Coimbra	9	R. Carolina Michaelis 17, 3030-324 Coimbra	16	Q.ta dos Alpões 5, 3000-157 Coimbra	23	Bairro Silva Rosas 1A, 3000-385 Coimbra
3	R. Joao de Deus Ramos 130, 3030-324 Coimbra	10	R. Carolina Michaelis, 87A, 3030-324 Coimbra	17	R. Miguel Torga 353, Coimbra	24	R. Correia Teles 17, 3000-385 Coimbra
4	R. Joao de Deus Ramos 130, 3030-324 Coimbra	11	R. Miguel Torga 50, 3030-333 Coimbra	18	R. Santa Teresa 29, 3000-359 Coimbra	25	R. Correia Teles 2, 3000-329 Coimbra
5	R. António Feliciano de Castilho 111, 3030-325 Coimbra	12	R. Miguel Torga 148, Coimbra	19	R. Santa Teresa 21, 3000-359 Coimbra	26	R. Pedro Monteiro 28, 3000-329 Coimbra
6	R. António Feliciano de Castilho 120, 3030-327 Coimbra	13	R. Miguel Torga 206, Coimbra	20	Av. Dom Afonso Henriques 3, 3000-351 Coimbra	27	R. Almeida Garrett 9, 3000-021 Coimbra
7	R. Carolina Michaelis 68, 3030-324 Coimbra	14	R. Miguel Torga, Coimbra	21	Av. Dom Afonso Henriques 35, 3000-385 Coimbra	28	R. Almeida Garrett 11, 3000-021 Coimbra
						29	Praça da República 30, 3000-305 Coimbra
						30	Praça da República

Tabela D.3 - Levantamento de dados – Trajeto 2.

	C.6	C.5	C.4	C.3	C.2	C.1	B.10	B.9	B.8	B.7	B.6	B.5	B.4	B.3	B.2	B.1	A.5	A.4	A.3	A.2	A.1	Σdist	dist.	
Σ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	1
7	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	56	56	2
9	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	156	100	3
8	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	213	57	4
9	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	252	39	5
8	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	297	45	6
9	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	335	38	7
9	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	427	92	8
10	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	477	50	9
7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	525	48	10
8	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	577	52	11
10	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	648	71	12
8	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	695	47	13
9	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	750	55	14
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	838	88	15
10	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	858	20	16

Tabela E.4 - Legenda da Tabela 0.4.

1	Av. Sá da Bandeira 2A, 3000-259 Coimbra	9	R. Joaquim António de Aguiar 71, 3000-088 Coimbra
2	R. da Couraça Apóstolos 39, 3000-225 Coimbra	10	R. Joaquim António de Aguiar 80, 3000-230 Coimbra
3	R. da Couraça Apóstolos 1A, 3000-225 Coimbra	11	R. Joaquim António de Aguiar 32, 3000-180 Coimbra
4	Couraça dos Apóstolos 4A, 3000-122 Coimbra	12	Largo Anthero Alte da veiga 2, 3000-180 Coimbra
5	Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade de Coimbra, 3000-122 Coimbra	13	Av. Emídio Navarro 36, 3000-150 Coimbra
6	Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade de Coimbra, 3000-122 Coimbra	14	R. Alegria 1, 3000-018 Coimbra
7	R. Coutinhos 35, 3000-129 Coimbra	15	R. da Couraça Estrela 9, 3000-433 Coimbra
8	R. Coutinhos 1, 3000-129 Coimbra	16	Av. Emídio Navarro, 3000-201 Coimbra

Tabela F.5 - Levantamento de dados – Trajeto 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
dist.	0	64	160	53	130	140	180	28	19	100	29	130	90	37	150	130	210	44	100	300
Σdist	0	64	224	277	407	547	727	755	774	874	903	1033	1123	1160	1310	1440	1650	1694	1794	2094
A.1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A.2	-	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	0	0	0
A.3	-	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.1	-	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
B.2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.3	-	0	2	2	0	2	1	0	0	1	1	2	0	2	1	0	2	2	0	0
B.4	-	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	2	2	2
B.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.7	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.8	-	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
B.9	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B.10	-	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
C.1	-	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.3	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C.4	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	6	9	9	7	10	10	8	6	8	8	12	11	11	11	10	13	12	9	9	

Tabela G.6 - Legenda da Tabela 0.6.

1	R. Covões 77, Coimbra	11	R. República 37, 3045-117 Coimbra
2	rua covões 150	12	Rua da Escola Nova 36, 3045-057 Coimbra
3	R. Covões 1, 3045-049 Coimbra	13	Rua da Escola Nova 67, 3045-057 Coimbra
4	R. Cap. Adolfo Melo Coelho Moura 35a, 3045-030 Coimbra	14	Rua da Escola Nova 28, 3045-057 Coimbra
5	R. 5 de Outubro 37, 3045-016 Coimbra	15	Rua da Escola Nova 16, 3045-057 Coimbra
6	R. República 9, 3045-117 Coimbra	16	Rua da Escola Nova 1, 3045-057 Coimbra
7	R. República 88, 3045-117 Coimbra	17	R. 1º de Maio 180, 3045-112 Coimbra
8	R. República 27, 3045-117 Coimbra	18	Largo 4 de Julho 3, 3045-115 Coimbra
9	R. República 100, 3045-117 Coimbra	19	R. Fontinha 98, Coimbra
10	R. República 33, 3045-117 Coimbra	20	R. Fontinha 40, 3045-069 Coimbra

Tabela H.7 - Levantamento de dados – Trajeto 4.

	R. Dr. Uriel Salvador, Coimbra	R. Dr. Uriel Salvador	R. Dr. Uriel Salvador, São João do Campo	R. Dr. Uriel Salvador, São João do Campo	Largo 1º de Maio 4, São João do Campo	R. Cel. António Elizeu 54, São João do Campo	R. Dr. Uriel Salvador, São João do Campo	R. Dr. Uriel Salvador, São João do Campo	R. Dr. Uriel Salvador	Urbanização São Silvestre 36, São Silvestre	Urbanização São Silvestre 168, São Silvestre	Urbanização São Silvestre 163, São Silvestre	R. Padreiro 1, 3025-565 São Silvestre
dist.	0	1200	41	110	180	140	500	210	130	120	400	100	350
Σdist.	0	1200	1241	1351	1531	1671	2171	2381	2511	2631	3031	3131	3481
A.1	-	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
A.2	-	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	1
A.3	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
A.4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.3	-	0	0	2	2	1	0	0	1	1	0	1	0
B.4	-	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.7	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
B.8	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.9	-	2	2	2	2	0	2	2	2	0	2	0	1
B.10	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.3	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C.6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ		4	4	5	7	4	4	6	6	4	3	2	5

Tabela I.8 - Levantamento de dados – Trajeto 5.

	C.6	C.5	C.4	C.3	C.2	C.1	B.1	B.9	B.8	B.7	B.6	B.5	B.4	B.3	B.2	B.1	A.5	A.4	A.3	A.2	A.1	Zdis t	dist	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-	-	-	0	0	1
8	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	1	97	97	2
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	2	13	41	3
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	48	35	4
4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	69	21	5
9	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	2	85	16	6
5	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	11	30	7
7	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	15	35	8
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	17	26	9
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	18	69	10
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	22	40	11
10	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	23	10	12
10	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	23	51	13
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	24	95	14
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	28	40	15
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	1	2	29	10	16
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	32	28	17
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	1	2	33	80	18
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	2	34	90	19
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	36	22	20
8	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	37	10	21
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	0	38	11	22
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	39	10	23

Tabela J.9 - Legenda da Tabela 0.6.

1	R. Lomba 38, Ceira	12	Estr Beira 783 783, Ceira
2	R. Lomba 38, Ceira	13	Estr. Beira 777, Ceira
3	R. Beira 994, Ceira	14	Estr. Beira 766, Ceira
4	R. Fonte 67, Ceira	15	Estr. Beira 724, Ceira
5	R. Beira 690, Ceira	16	Estr. Beira 694, Ceira
6	R. Beira 916, Ceira	17	Estr. Beira 677, Ceira
7	R. Beira 871, Ceira	18	Estr. Beira 677
8	N17 818- 866, Ceira	19	Estr. Beira 666
9	N17 2, Ceira	20	R. Eira Velha 15
10	N17, Ceira	21	R. Eira Velha 3
11	Estr. Beira 789	22	R Lameira 12
		23	Ceira