

# **Desafios à Implementação de Veículos Autónomos**

por

**Nomes:**

Alexandre Lopes  
André Venceslau

**Números:**

96144  
96159

**Professor:**

João Sequeira

**Instituto Superior Técnico**  
**Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores**  
**Portfólio MEEC**

Dezembro 2019

## **Lista de acrónimos e símbolos**

VA - Veículo autónomo  
VAs - Veículos autónomos  
VNA - Veículo não autónomo  
VNAs - Veículos não autónomos  
V2V - Vehicle to Vehicle  
V2I - Vehicle to infrastructure  
V2X - Vehicle to everything  
R - Reliability  
F - Fail-rate by miles  
C - Confidence  
n - Fail-free miles

# Índice

<b>1. Introdução</b>	3
1.1. Enquadramento	3
1.2. Objetivos	3
<b>2. Interação Veículo Autónomo - Peão/Veículo Não Autónomo</b>	4
2.1. Síntese da interação VA - Peões/Condutores	4
2.1.1. Fatores condicionantes à interação VA - Peões/Condutores	4
<b>3. Comunicação V2V e V2I</b>	6
3.1. Requerimentos para Comunicação V2V e V2I	6
3.2. Problemas de Comunicação	8
<b>4. Demonstração da Segurança dos VA</b>	9
4.1. Previsões de Erro	9
4.1.1. Demonstração	10
<b>Conclusão</b>	11
<b>Referências Bibliográficas</b>	12

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

A automatização automóvel é uma das tecnologias mais controversas do nosso futuro próximo, criando no público uma certa incerteza dos seus supostos benefícios. No entanto, existem já várias empresas a investir neste novo mercado, tais como a Intel, Apple, Toyota e Uber.

A implementação desta tecnologia em grande escala pode reduzir o número de acidentes na estrada, evitando congestionamentos sobretudo nas grandes cidades. Estes problemas são inerentes ao fator humano, pelo que remover este fator humano é benéfico para a segurança pública; isto pode ser alcançado através da utilização de veículos autónomos [1, 2].

A evolução tecnológica permite a automatização destes automóveis, a partir da interação com elementos na estrada comandados por software “inteligente”. Um veículo autónomo permite eliminar os erros inerentes da condução humana, tal como otimizar a eficiência do veículo, levando a reduções energéticas e diminuir a mortalidade que advém de sinistros rodoviários.

Nos dias de hoje, alguns dos maiores problemas de engenharia encontram-se no desenvolvimento destes veículos, que se enquadram em vários tópicos, tais como a sua segurança, o seu custo e a tomada de decisões.

## 1.2. Objetivos

Neste trabalho pretende-se enumerar e descrever os maiores desafios e restrições que os engenheiros são confrontados no desenvolvimento de veículos autónomos e o estudo de algumas consequências da sua implementação na sociedade. Estes são:

- Interação com veículos não autónomos e com peões
- Interferências na comunicação *Vehicle to Vehicle* (V2V), *Vehicle to Infrastructure* (V2I) e *Vehicle to Everything* (V2X)
- Demonstração da segurança dos veículos autónomos

## **2. Interação Veículo Autónomo (VA) - Peão/Veículo Não Autónomo (VNA)**

### **2.1. Síntese da interação VA - Peões/Condutores**

Um dos maiores desafios no desenvolvimento de veículos autónomos é a sua condução em meios urbanos. Para tornar esta tecnologia uma realidade, os VAs precisam de ter a capacidade de “entender” condutores e peões. No entanto, “entender” as intenções dos utilizadores da estrada não é fácil e requer conhecimento de vários fatores, tais como:

- População (a relação com a estrada depende da cultura do local);
- Condições atmosféricas;
- Dinâmica do tráfego;

Nesta secção, iremos relatar com mais detalhe estes fatores.

#### **2.1.1. Fatores condicionantes à interação VA - Peões/Condutores**

Este ano, a Tesla publicou um vídeo da condução automática do modelo 3 [3] ( Figura 1), que mostra uma versão fluída daquilo que os consumidores esperam receber de um veículo autónomo. Ao longo destes últimos anos, a empresa tem armazenado grandes quantidades de vídeo da condução dos seus veículos na Califórnia. A empresa referiu que isto permite captar todos os aspetos do comportamento humano necessários ao desenvolvimento de um VA. Como se vê no vídeo, o método aparenta ser bastante efetivo. No entanto, levanta-se a questão: Conduzir um veículo é igual em todo o mundo?



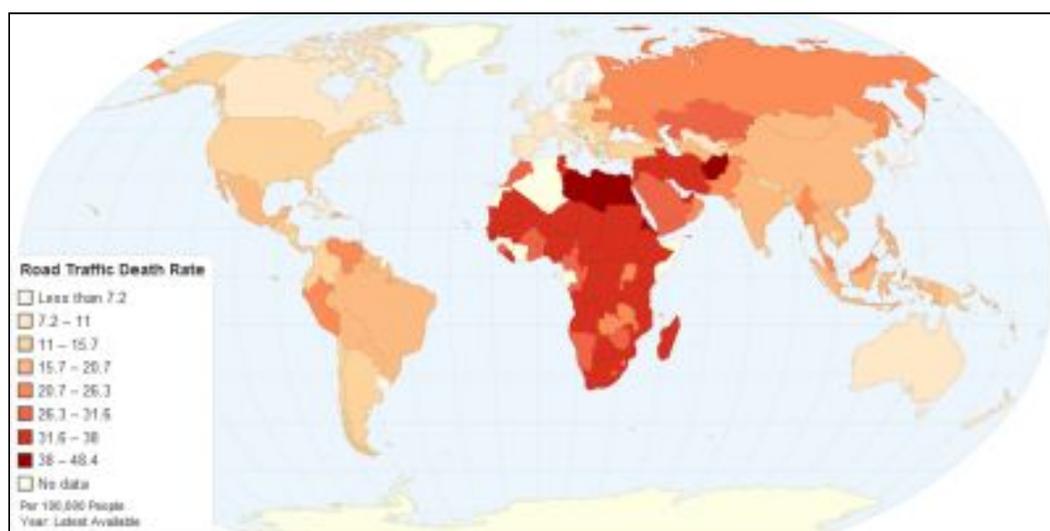
**Figura 1:** Condução autónoma - Tesla modelo 3

Neste momento, a maioria dos veículos da Tesla estão em países “ocidentais”, e em algumas partes da China, o que faz com que a adaptação destes veículos à condução autónoma seja mais compatível com estas zonas. O grande desafio dos VAs são países como a Índia ou o Bangladesh (Figura 2), em que o tráfego foge aos padrões estabelecidos para o comportamento dos peões e VNAs, tal como a infraestrutura da estrada (sinalização), tornando os modelos utilizados nos países ocidentalizados inviáveis neste tipo de países.



**Figura 2:** Estrada em Mumbai, Índia

A previsão comportamental dos VNAs torna-se muito complicada por os padrões serem mais complexos. Estas diferenças refletem-se no número de mortes (Figura 3) e no caos que por vezes se instala na estrada.



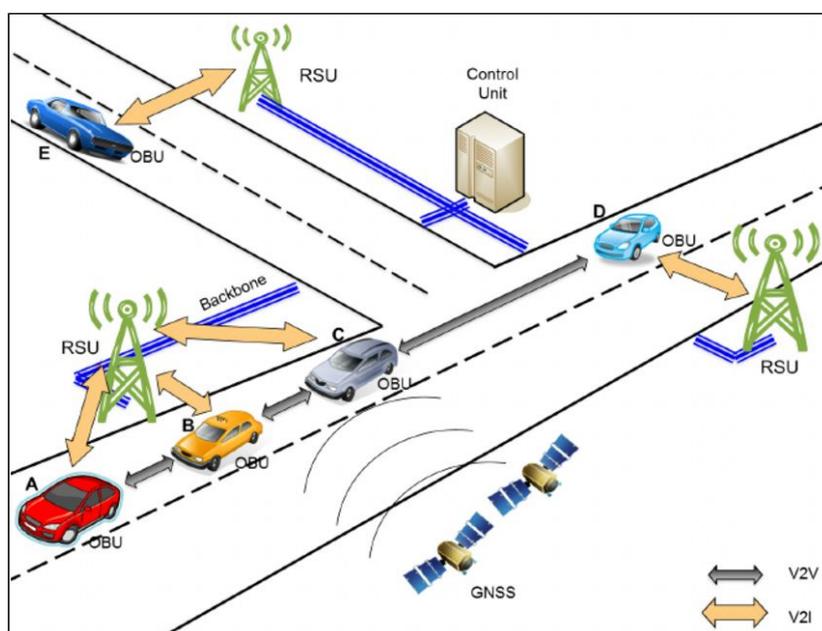
**Figura 3:** Taxa de Mortalidade na Estrada - *Road Traffic Death Rate (World Health Organization 2013)*

### 3. Comunicação V2V e V2I

#### 3.1. Requerimentos para Comunicação V2V e V2I

Os métodos de comunicação utilizando veículos têm sido estudados ao longo dos últimos anos, como uma ferramenta ao serviço da automatização automóvel. Esta tecnologia pode ser dividida em dois meios: centralizado e descentralizado.

O meio central (V2I) permite a comunicação dos veículos com terminais estacionários (figura 4). Os automóveis recolhem informação da estrada, enquanto o terminal envia essa informação a outros veículos. O meio descentralizado (V2V) consiste na comunicação direta veículo-veículo [4].



**Figura 4:** Comunicação V2V e V2I

RSU - *Roadside Unit* ; OBU - *Onboard Unit* ; GNSS - *Global Navigation Satellite System*

Por motivos de segurança, para esta tecnologia poder ser utilizada é necessária uma contínua troca de informação entre veículos, tal como a garantia da rapidez e fiabilidade da mesma, em qualquer situação possível [5, 6].

O sucesso da transmissão de informação dentro de uma distância relevante (50-300 m) tem de ser elevada (a 100 m a probabilidade de sucesso é cerca de 99% e a 250 m é de cerca de 85% [7] ), tal como o seu número de actualizações. Da mesma maneira, o “delay” do envio da mensagem ao receptor tem de ser bastante pequeno. Estes requisitos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Requisitos de comunicação. Adaptado de [7]

	<b>Comm Type</b>	<b>Trans Mode</b>	<b>Min. Freq (Hz)</b>	<b>Latency (msec)</b>	<b>Data to Be Transmitted and/or Received</b>	<b>Max. Req'd Comm Range (m)</b>
<b>Traffic Signal Violation Warning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrastructure -to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traffic signal status</li> <li>• Timing</li> <li>• Directionality</li> <li>• Position of the traffic signal stopping location</li> <li>• Weather condition (if available)</li> <li>• Road surface type</li> </ul>	~250
<b>Curve Speed Warning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrastructure -to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~1	~1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curve location</li> <li>• Curve speed limits</li> <li>• Curvature</li> <li>• Bank</li> <li>• Road surface condition</li> </ul>	~200
<b>Emergency Electronic Brake Lights</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Event-driven	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Position</li> <li>• Heading</li> <li>• Velocity</li> <li>• Deceleration</li> </ul>	~300
<b>Pre-Crash Sensing</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-vehicle</li> <li>• Two-way</li> <li>• Point-to-point</li> </ul>	Event-driven	~50	~20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle type</li> <li>• Position</li> <li>• Velocity</li> <li>• Acceleration</li> <li>• Heading</li> <li>• Yaw-rate</li> </ul>	~50
<b>Cooperative Forward Collision Warning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Position</li> <li>• Velocity</li> <li>• Acceleration</li> <li>• Heading</li> <li>• Yaw-rate</li> </ul>	~150
<b>Left Turn Assistant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-infrastructure and infrastructure -to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traffic signal status</li> <li>• Timing</li> <li>• Directionality;</li> <li>• Road shape and intersection information;</li> <li>• Vehicle position</li> <li>• Velocity</li> <li>• Heading</li> </ul>	~300
<b>Lane Change Warning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Position</li> <li>• Heading</li> <li>• Velocity</li> <li>• Acceleration</li> <li>• Turn signal status</li> </ul>	~150
<b>Stop Sign Movement Assistance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle-to-infrastructure and infrastructure -to-vehicle</li> <li>• One-way</li> <li>• Point-to-multipoint</li> </ul>	Periodic	~10	~100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehicle position</li> <li>• Velocity</li> <li>• Heading;</li> <li>• Warning</li> </ul>	~300

### 3.2. Problemas de Comunicação

Com a utilização de V2X aparecem vários problemas tais como a informação que deve ser partilhada, se é possível partilhá-la e se os outros veículos vão compreender essa informação.

A comunicação é feita através de ondas rádio. As características das ondas mudam à medida que se propagam, o que leva à utilização de modelos matemáticos que tentam inferir as características da onda inicial. Se a onda sofre alterações por causa de ruído, então a informação pode estar corrompida, tornando esta tecnologia inviável.

A largura de banda que é usada atualmente não é capaz de transmitir toda a informação recebida pelos sensores. Como tal é necessário que se aumente a largura de banda utilizada ou utilizar um novo método de transmissão de informação, o que pode ser alcançado transmitindo apenas informação mais relevante como obstáculos na proximidade ou potenciais perigos. Surge aqui um novo problema: O que são obstáculos para diferentes produtores de veículos ou diferentes produtores de software para VA [8]?

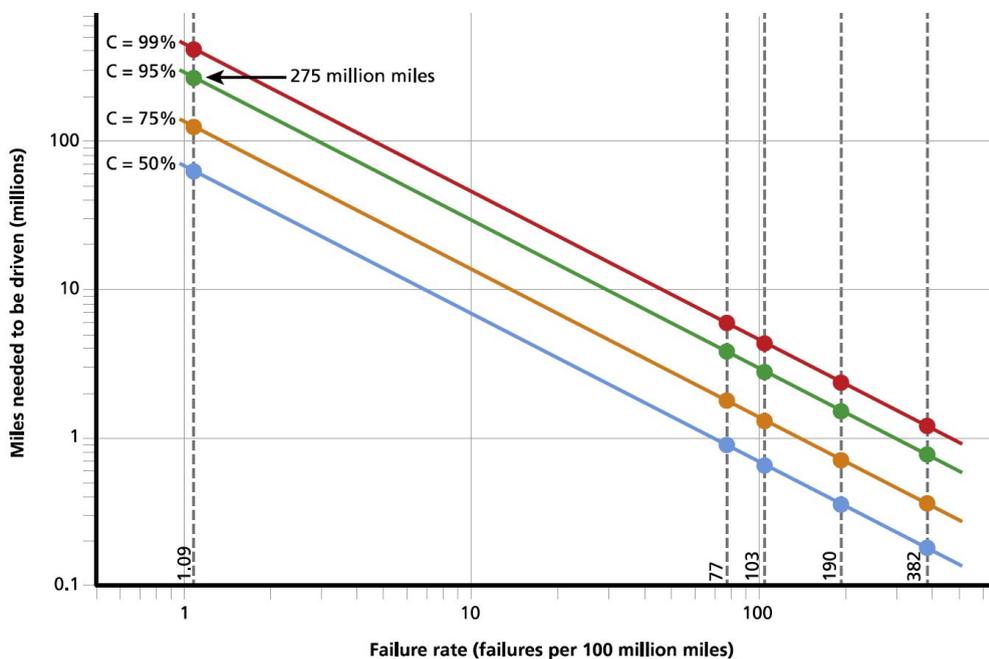
Mesmo que todos os entraves à propagação de mensagens sejam ultrapassados, não há garantia de que todos os veículos em estrada possam comunicar entre si, devido à utilização de modelos diferentes. Caso não seja possível, a regulamentação da informação partilhada entre veículos tem de ser implementada.

Os receptores na comunicação V2X são móveis. Cada receptor tem a sua maneira típica de se movimentar, pois cada condutor tem uma localização geográfica diferente. No entanto, o nível de liberdade é limitada pela estrada e a sua sinalização, tal como o comportamento dos outros veículos. Isto torna os movimentos de cada veículo difíceis de prever. Esta mobilidade afeta a comunicação, pois as características das ondas rádio mudam continuamente [4].

## 4. Demonstração da Segurança dos VA

### 4.1. Previsões de Erro

Demonstrar a segurança dos VA implica mostrar dados estatísticos do seu sucesso. No entanto, existem problemas inerentes a estes dados. No gráfico da figura 5 é calculada a distância necessária para demonstrar a segurança dos VAs, “*miles needed to be driven*”, para tal é necessário ter em conta que nem todas as estradas são iguais. Estas distâncias usadas para a demonstração têm de representar um amplo espetro de condições, tais como: terreno, tráfego, clima e serem adequadas à realidade. Ou seja, se uma percentagem das estradas apresenta uma determinada condição, a percentagem associada ao gráfico na mesma condição deverá ser igual.



**Figura 5:** Milhas necessárias para a demonstração da segurança do veículo, onde C-Confidence. Retirado de [9].

### 4.1.1. Demonstração

Para demonstrar a existência de uma razão ( $n$ ) de 1.09 mortes por 100 milhões de milhas são usadas as seguintes expressões:

$$n = \frac{\ln(1-C)}{\ln(R)} \quad C = 1 - R^n \quad R = 1 - F$$

onde, C - Confidence, R - Reliability e F- Failure Rate.

Para  $R=99,9999989\%$  e  $C=95\%$ , os veículos teriam de conduzir 275 milhões de milhas sem acidentes. Com uma frota de 100 VAs sendo testados 24 horas ao dia, 365 dias ao ano a uma média de 25 milhas por hora, isto demoraria **12,5 anos** [9].

Para que esta tecnologia possa ser implementada mais rapidamente é necessário que se aumente a frota de veículos que circulam autonomamente e que estes não sejam proibidos de circular enquanto estão em fase de testes.

A realização de testes é por si só uma dificuldade, pois é necessário que estes veículos circulem em situações reais. Se a legislação impedir ou condicionar a circulação destes veículos antes de ser comprovada o seu correto funcionamento, então os testes terão de ser realizados em laboratório. Se assim for, então, aumenta a probabilidade de falha destes veículos derivada da impossibilidade de contemplar todas as situações possíveis em testes laboratoriais e/ou simulações, uma vez que é expectável que não se tenha tido em conta algum fator que só seria contemplado em situações reais.

## **Conclusão**

Dos problemas enumerados anteriormente alguns são mais facilmente solucionáveis do que os restantes, sendo que, por exemplo, a tecnologia V2V e V2X não é estritamente necessária para a criação de veículos autónomos, podendo estes ser autónomos sem que exista comunicação entre eles.

No que toca a autonomia total, a dificuldade principal é a identificação dos comportamentos dos peões/condutores humanos e o teste dos sistemas/modelos que fazem a identificação comportamental dos peões/condutores.

O futuro da indústria automóvel percebe-se entusiasmante, estando em curso grandes avanços tecnológicos nos próximos anos, pelo que é esperado que entre 2-15 anos comecem a aparecer os primeiros veículos totalmente autónomos.

Se a legislação em torno da automação automóvel não a proibir, nem for alterada, é provável que estas tecnologias apareçam bem mais depressa do que o esperado.

## Referências Bibliográficas

- [1] “Fatal Motor Vehicle Crashes: Overview”, Publisher: NHTSA, 2016, Disponível em: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812456>.
- [2] Dongo Rémi Kouabenan, “Study of the causes of pedestrian accidents by severity” Université Pierre Mendès France, Journal of Psychology in Africa, 14(2), p.119–126, 2004.
- [3] “Tesla AutoPilot model 3” <https://www.tesla.com/autopilot>
- [4] Felix Schmidt-Eisenlohr, “Interference in Vehicle-to-Vehicle Communication Networks - Analysis, Modeling, Simulation and Assessment”, Karlsruhe Institute of Technology, 2010.
- [5] Fredrik Brännström ; Yutao Sui ; Kin Cheong Sou, “D2D-based V2V communications with latency and reliability constraints”, IEEE Globecom Workshops, 2014.
- [6] Jie Mei, Kan Zheng, Long Zhao, Yong Teng, Xianbin Wang, “A Latency and Reliability Guaranteed Resource Allocation Scheme for LTE V2V Communication Systems”, IEEE Transactions on Wireless Communications, 17(6) p.3850 - 3860, 2018.
- [7] “Vehicle Safety Communications Project Final Report”, NHTSA, p.17-19, 2006, Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2006/Vehicle%20Safety%20Communications%20Project%20-%20Final%20Report.pdf>
- [8] Qi Chen , Sihai Tang , Jacob Hochstetler , Jingda Guo , Yuan Li , Jinbo Xiong, Qing Yang, Song Fu, “Low-Latency High-Level Data Sharing for Connected and Autonomous Vehicular Networks”, Department of Computer Science and Engineering, University of North Texas, USA College of Mathematics and Informatics, Fujian Normal University, China, 2019, Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1912.01080>
- [9] N. Kalra, S.M. Paddock, “Transportation Research Part A 94”, Elsevier, p.184-185, 2016