

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA

LEONARDO CAVALHEIRO RODRIGUES

**FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DE VEÍCULOS
AUTÔNOMOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

LEONARDO CAVALHEIRO RODRIGUES

FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Max Mauro Santos

PONTA GROSSA

2017



FOLHA DE APROVAÇÃO

FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Desenvolvido por:

LEONARDO CAVALHEIRO RODRIGUES

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado em 11 de DEZEMBRO de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA ELETRÔNICA. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Max Mauro Santos
Professor Orientador

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Membro titular

Prof. Dr. Frederic Conrad Janzen
Membro titular

Dedico este trabalho aos meus familiares
Antonio Gonzaga Rodrigues, Ivete Cavaleiro e
Juliana Rodrigues por todo amor, apoio, dedicação e
incentivo que recebi ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), por me proporcionar a vivência em uma instituição com ensino superior de excelência. Sou grato à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

Agradeço aos Profs. Drs. Max Mauro Santos, que orientou o desenvolvimento deste trabalho e me apoiou em momentos difíceis; Josmar Ivanqui, docente responsável pela disciplina “TCC II”, pelo apoio e empatia na etapa de entrega deste trabalho; Murilo Leme, que, enquanto coordenador do curso de Engenharia Eletrônica, contribuiu para o meu desenvolvimento acadêmico e muito me auxiliou com questões burocráticas no estágio complementar realizado na TV Globo/SP e Joaquim de Mira Junior, por ter me orientado na monitoria da disciplina “Eletrônica Digital I” e motivado a aprender ao ensinar.

Agradeço à CAPES pela provisão da bolsa de intercâmbio do Programa “Ciências Sem Fronteiras” que me permitiu vivenciar uma experiência única na Alemanha e um maior aprofundamento na área de instrumentação automotiva.

Agradeço às empresas Robert Bosch GmbH – Planta Reutlingen/DE –, referência na fabricação de componentes automotivos - em especial, ao departamento *Automotive Electronics, Engineering Sensor for External Customers 3 – Application of Sensors (AE/ESSE3.1)* - pela oportunidade de realização do estágio obrigatório; PIXIDA e BMW do Brasil, por me proporcionarem o trabalho com testes e validação de sistemas de navegação em um centro de referência de engenharia automotiva no país.

Agradeço a Louis F. Fourie, membro da *Society of Automotive Historians*, pela presteza no envio de documentos que embasaram o presente trabalho.

Agradeço por fim, e não menos importante, aos meus familiares e amigos, que além do compartilhamento de aprendizados, agradeço pela amizade, carinho e preocupação que sempre tiveram para comigo, cada qual à sua maneira.

RESUMO

RODRIGUES, Leonardo Cavalheiro. **FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS**. 2017. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Com a constante evolução dos veículos motorizados e suas inovações, as necessidades dos homens tornam-se cada vez mais exigentes, posto que antigamente seus anseios concerniam exclusivamente à eficiência: percorrer maiores distâncias com menos combustível e tempo. Hoje, outros fatores também vêm a integrar a lista de itens basilares em veículos automotores como segurança, conforto, resistência e tecnologia embarcada. Nesse cenário, o automóvel assume um papel de destaque. Isso porque, por tratar-se de um dos principais meios de transporte de pessoas, apresenta um rápido desenvolvimento tecnológico estimulado por bilhões de usuários ao redor do globo. Esse estímulo tem elevado o veículo atual ao estado da primazia, o veículo autônomo. No entanto, essa inovação já enfrenta diversas barreiras tecnológicas, legais e culturais. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo trazer as informações necessárias para uma análise criteriosa desse novo marco da locomoção veicular, considerando desde a conjuntura atual e as tecnologias disponíveis até o que se faz necessário para a popularização do veículo autônomo.

Palavras-chave: Tecnologia embarcada. Autonomia. Veículo Autônomo. Desenvolvimento Tecnológico.

ABSTRACT

RODRIGUES, Leonardo Cavalheiro. **FUNDAMENTALS, TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS OF AUTONOMOUS VEHICLES**. 2017. 83 p. Work of Course Conclusion (Graduation in Electronic Engineering) - Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

With the constant evolution of motor vehicles and their innovations, the needs of men become increasingly demanding, since in the past their longings were exclusively about efficiency: to travel longer distances with less fuel and less time. Today, other factors also come to integrate the list of basic items in automotive vehicles such as safety, comfort, resistance and embedded technology. In this scenario, the car plays a prominent role. This is because, as it is one of the main means of transport of people, it presents a rapid technological development stimulated by billions of users around the globe. This stimulus has elevated the current vehicle to the state of primacy, the autonomous vehicle. However, this innovation already faces several technological, legal and cultural barriers. In this sense, the present work aims to provide the necessary information for a careful analysis of this new vehicle locomotion milestone, considering from the current conjuncture and available technologies to what is necessary for the popularization of the autonomous vehicle.

Keywords: Embedded Technology. Autonomy. Autonomous Vehicle. Technological Development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Firebird II	16
Figura 2: Chevrolet Impala 1958	17
Figura 3: Firebird III com as duas boninas frontais adaptadas	17
Figura 4: Buggy da Universidade de Standford	18
Figura 5: Veiculo Stanley	19
Figura 6: Veículo Mercedes S-Class	20
Figura 7: NavLab 5	20
Figura 8: CaRINA 2	21
Figura 9: Cadu	22
Figura 10: Quantidade de dados produzidos por um VA	25
Figura 11: Tempo de reação do ser humano e de um computador	26
Figura 12: Comparativos entre quatro modelos de VSs	41
Figura 13: Modelos testados	42
Figura 14: Percurso utilizado para o teste	42
Figura 15: Primeiro VS level 3, o Audi A8	44
Figura 16: Giroscópio Conceitual	45
Figura 17: Capacitor do sensor de aceleração	46
Figura 18: Parâmetros de rotação nos três eixos	46
Figura 19: IMU 9DOF Razor	47
Figura 20: Câmera de ré	48
Figura 21: Resultado do jogo de câmeras	48
Figura 22: Câmera estéreo	49
Figura 23: Imagem captada pelo LIDAR	49
Figura 24: Captação do LIDAR	50
Figura 25: Modelos de Lidar	51
Figura 26: Novo LIDAR	51
Figura 27: Sistema de radar automotivo da Infineon Technologies	53
Figura 28: Distancias de atuação de radares, câmeras e LIDAR	53
Figura 29: Sensor ultrassônico	54
Figura 30: Triangularização do sistema GPS	55
Figura 31: Drive PX Pegasus	56

Figura 32: Intel Go.....	57
Figura 33: Modelo Ford Fusion utilizado para entrega de pizzas	61
Figura 34: Primeiro veículo autônomo de construção comercializado	62
Figura 35: Escavadeira autônoma da Built Robotics.....	62
Figura 36: trator autônomo guiado por GPS	63
Figura 37: Robô militar guiado por controle remoto e com arma M240.....	64
Figura 38: Veículos militares semiautônomos do tipo líder-seguidor	64
Figura 39: VA Toyota Prius do Google.....	65
Figura 40: Lexus RX450h.....	65
Figura 41: Versões idealizada, desenvolvida e melhorada do VA do Google	66
Figura 42: Componentes principais do protótipo.....	67
Figura 43: Processamento do veículo do Google.....	67
Figura 44: Atual VA da Waymo	68
Figura 45: Protótipo do VA da Toyota	70
Figura 46: Protótipo do VA INext da BMW	70
Figura 47: VA da Waymo em fase experimental	72
Figura 48: VA da Uber em parceira com a Volvo	73
Figura 49: Future Bus com CityPilot da Mercedes-Benz.....	74
Figura 50: Caminhão autônomo da Uber	75

LISTA DE SIGLAS

AHS - Automated Highway System

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

ECU - Electronic Control Unit

EUA - United States of America

GM - General Motors

GPDA - Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento de Veículos Autônomos

GPS - Global Positioning System

IA - Inteligência Artificial

IMU - Inertial Measurement Unit

NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

RCA - Radio Corporation of America

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

VA - Veículo Autônomo

VS - Veículo Semiautônomo

LISTA DE ACRÔNIMOS

ADAS - Advanced Driver Assistance System

Cadu - Carro Autônomo Desenvolvido na UFMG

IASP - Instituto dos Advogado de São Paulo

ISA - Intelligent Speed Adaptation

LIDAR - Light Detection and Ranging

SAIL - Artificial Intelligence Laboratory

USP - Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contexto Histórico	15
1.2 O que é um veículo autônomo.....	23
1.2.1 Interpretação do meio	23
1.2.2 Capacidade de processamento e tratamento de dados.....	24
1.2.3 Reação e integração aos elementos externos	25
1.3 Objetivos	26
1.4 Estrutura.....	27
2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO	28
2.1 Caracterização	28
2.2 Cinemática Veicular.....	29
2.3 Dinâmica Veicular.....	30
2.4 Classificação	30
2.5 Conclusão	31
3 REQUISITOS E RESTRIÇÕES DA TECNOLOGIA	33
3.1 Requisitos.....	33
3.2 Restrições.....	34
3.3 Tecnologias	35
3.3.1 Sensores	44
3.3.1.1 Sensores inerciais.....	45
3.3.1.2 Câmeras	47
3.3.1.3 LIDAR	49
3.3.1.4 Radar	52
3.3.1.5 Sensores Ultrassônicos	54
3.3.1.6 Sistema GPS	54

3.3.2	Processadores	56
3.3.3	Atuadores.....	57
3.4	Conclusão	58
4	APLICAÇÕES	59
4.1	Veículos de Passeio	59
4.2	Veículos Comerciais.....	60
4.3	Veículos de Construção	61
4.4	Veículos Agrícolas.....	63
4.5	Veículos Militares	63
5	PESQUISAS.....	65
5.1	Veículo Autônomo da Waymo	65
5.2	Outros.....	68
6	VEÍCULOS AUTÔNOMOS COMERCIAIS	72
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXO A – Níveis de automação veicular segundo a SAE Internation...81	

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais tem se tornado notório que com o desenvolvimento da eletrônica, produtos e processos têm sido aprimorados com tecnologia. Diversos produtos manufaturados passaram a agregar circuitos eletrônicos, e com os veículos essa tendência não foi diferente. Sistemas eletrônicos embarcados vêm se tornando cada vez mais utilizados, tornando os veículos atuais muito diferentes dos veículos unicamente mecanizados do passado.

A indústria automobilística representa um papel importante na economia mundial. No Brasil, por exemplo, em 2011 o setor atingiu 18,2% da economia nacional (Amorim & Neder, 2013). Nesse sentido, considerando a importância do setor, é de se esperar que grandes investimentos sejam feitos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Além disso, ao passo que a evolução tecnológica impacta positivamente nos veículos automotores, a adoção de padrões de qualidade bem como o aumento do nível de exigência dos consumidores também tem contribuído para a melhoria em termos de segurança, conforto e eficiência veicular.

A concorrência entre as várias montadoras existentes no mercado é outro fator que impacta diretamente na inovatividade dos veículos produzidos, visto que estimula cada vez mais o surgimento de novas tendências tecnológicas no segmento. Segundo a empresa KPMG, a indústria automotiva terá de lidar com uma frente de várias tendências que acomete o setor o mesmo tempo. Dentre essas tendências, a condução autônoma é considerada uma área de inovação revolucionária e que de forma disruptiva mudará o que se entende por locomoção veicular.

A inserção de uma nova versão de um produto já consolidado no mercado é uma tarefa que exige muito esforço por parte dos desenvolvedores de tecnologia. Isso porque, a aceitabilidade de um novo produto depende do quão vantajoso esse produto é ao consumidor quando comparado ao produto já estabelecido no mercado, tanto no âmbito financeiro quanto tecnológico. No exemplo dos veículos autônomos (VAs), são claras todas as vantagens que serão trazidas à sociedade, no entanto, o sucesso dessa tecnologia depende de alguns fatores que serão melhor descritos ao longo do presente trabalho.

Considerando o fato de mundo estar cada vez mais interconectado, onde eficiência do gerenciamento de tempo é cada vez mais necessária, o veículo autônomo é visto como uma oportunidade para que o motorista utilize o tempo durante

o trânsito para realizar outras tarefas. Como projeção, o foco por parte dos consumidores mudará ao adquirir um veículo, já que 60% dos consumidores ao comprar um veículo autônomo se interessarão apenas em o que eles poderão fazer com o tempo livre durante o trânsito, não mais apenas com as características do veículo (KPMG Internacional, 2017). Outras vantagens, potencialidades e desafios devem ser observados com o advento dessa tecnologia e, vale adiantar, que estes elementos também serão discutidos nos tópicos subsequentes deste trabalho.

1.1 Contexto Histórico

Em 1939, na Feira Mundial de Nova Iorque/EUA, foram iniciadas as pesquisas relacionadas à automação veicular. Nessa feira havia uma exposição chamada *Futurama* que, projetada por Norman Melancton Bel Geddes e patrocinada pela General Motors (GM), trazia um protótipo de tamanho reduzido do AHS. Esse protótipo sugeria a forma com a qual os veículos se locomoveriam em 20 anos, ou seja, em 1959. A intenção principal do projeto era que as rodovias inteligentes corrigissem as falhas humanas na condução de veículos. No entanto, ao discutir a possibilidade da implementação do projeto com o então presidente dos Estados Unidos da América (*United States of America* – EUA) – Sr. Franklin Delano Roosevelt -, outras prioridades se tornaram foco de pesquisa com o início da Segunda Grande Guerra Mundial (Wetmore, 2003).

Finda a Segunda Grande Guerra Mundial, várias tecnologias que haviam sido criadas para fins militares foram adaptadas à realidade veicular, um exemplo a ser citado é o *Global Positioning System* (GPS) que veio a dar inícios aos sistemas de navegação dos veículos.

No ano de 1953, a Radio Corporation of America (RCA) estabeleceu uma parceria com a GM de modo que ambas empresas pudessem testar suas criações veiculares e, juntas, deram início à produção de um sistema automatizado de rodovia (*Automated Highway System* - AHS) em escala real para testes, denominado “*Autoway of Tomorrow*”.

Três anos depois a GM deu início ao desenvolvimento de uma série com três veículos experimentais, o Firebird I, II e III.

O Firebird II, destaca-se por ser o veículo pioneiro anunciado como aquele que, dentre outras inovações, era capaz de dirigir de forma independente, apesar das

limitações tecnológicas da época. Idealmente, uma vez no "Autoway of Tomorrow", o veículo precisaria apenas contatar via rádio a torre de controle de tráfego para entrar em modo piloto automático informando o destino para o qual gostaria de ir, a rota desejada, condições do veículo e nível do tanque de combustível. A torre então orientaria o motorista a parer o veículo com a rodovia, por meio de um condutor metálico ao longo de toda a via e um "cérebro eletrônico" e sensores no veículo. No entanto, a função autônoma nunca funcionou comprovadamente, mesmo que sendo divulgado pela GM como um veículo que fosse capaz de se locomover de tal forma (Wetmore, 2003).

Figura 1: Firebird II



Fonte: GEARHEADS (2015)

Em uma quinta-feira de inverno, dia 14 de fevereiro de 1958, a GM anunciou o Chevrolet Impala 1958, o primeiro veículo em escala real capaz de se locomover sem os comandos de um motorista:

"An automatically guided automobile cruised along a one mile check road at General Motors Technical Center today, steered by an electric cable beneath the concrete surface. It was the first demonstration of its kind with a full-size passenger car, indicating the possibility of a built-in guidance system for tomorrow's highways The car rolled along the two-lane check road and negotiated the banked turn-around loops at either end without the driver's hands on the steering wheel" (Maurer, Gerdes, Lenz, & Winner, 2015).

"Um automóvel guiou-se automaticamente por uma estrada de testes de uma milha no Centro Técnico General Motors hoje, conduzido por um cabo elétrico sob a superfície de concreto. Foi a primeira demonstração desse tipo com um automóvel de passageiro de tamanho normal, indicando a possibilidade de um sistema incorporado de direção para as rodovias do amanhã ... O carro guiou-se ao longo da estrada de testes de duas pistas e lidou com curvas inclinadas em cada uma das extremidades sem as mãos do motorista no volante" [tradução nossa]

O Chevrolet Impala 1958 foi adaptado com duas bobinas na parte frontal que detectava a corrente alternada que percorria o condutor ao longo da via e, dessa forma, mantinha o carro alinhado durante todo o percurso.

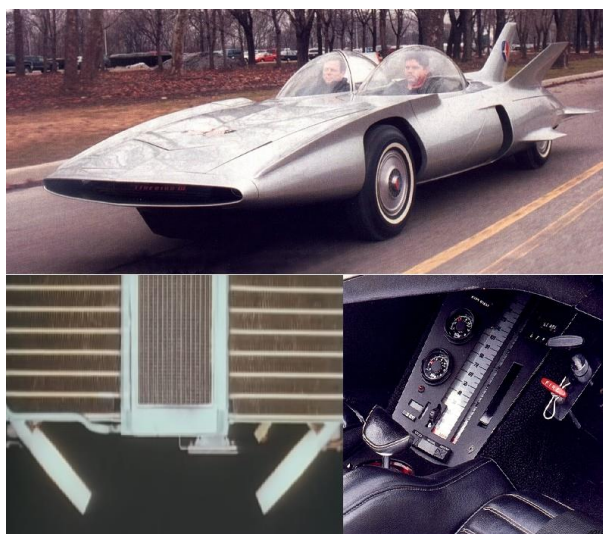
Figura 2: Chevrolet Impala 1958



Fonte: SPRINGER (2012)

Não satisfeitos com o sucesso do sistema autônomo adaptado no Impala, a GM decidiu lançar a última versão Firebird no mesmo ano, o Firebird III. O último Firebird da série, assim como o Chevrolet Impala, era capaz de se locomover de forma autônoma no AHS. Entretanto, ele apresentava um diferencial não só do Impala, mas de qualquer outro veículo já produzido: ao invés de volante, o Firebird III dispunha de um joystick para controle total da direção do veículo.

Figura 3: Firebird III com as duas bobinas frontais adaptadas



Fonte: Editado de FACEPUNCH (2005)

Antes que os projetos que utilizassem processamento de imagem tivessem início, outros veículos associados ao AHS foram criados ao longo dos anos.

Com o intuito de alavancar a tecnologia de sondas lunares, a Universidade de Stanford desenvolveu, na década de 60, um robô com uma câmera de vídeo interligado a um controle por meio de um longo cabo. Com o passar do tempo, esse veículo teve sua inteligência e capacidade de processamento melhoradas e, em 1979, o robô atravessou com sucesso uma sala cheia de cadeiras sem intervenção humana em aproximadamente cinco horas. Por consequência, Hans Moravec alcançou o que parece ser o primeiro sinal de mobilidade robótica autônoma.

Figura 4: Buggy da Universidade de Stanford



Fonte: Editado de Stanford University (2012)

Toda a base da tecnologia desenvolvida com a construção do robô veio a servir de suporte para um projeto futuro mais ousado: O VA Stanley, desenvolvido também pelo *Artificial Intelligence Laboratory* (SAIL) da Universidade de Stanford sob o comando do professor Sebastian Thrun. A instituição lançou o veículo em 2005 para uma competição de 212 km no deserto para veículos autônomos chamada "*DARPA Grand Challenge*". A equipe da Universidade venceu a competição com esse veículo - um Volkswagen Touareg modificado - que realizou a prova em seis horas e cinquenta e quatro minutos.

Figura 5: Veiculo Stanley

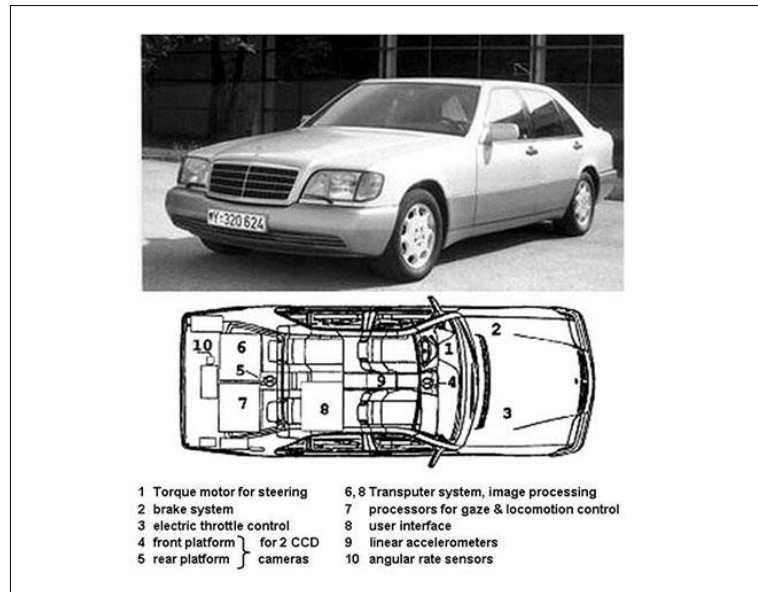


Fonte: Stanford University (2005)

Conhecido como o pioneiro do VA, o engenheiro Ernst Dickmanns da Universidade de Munique na década de 80 deu início à uma série de projetos. Em 1987 foi criado o VA VaMors, ele era equipado com duas câmeras, oito microprocessadores Intel 16-bits e um conjunto de outros sensores e softwares. O veículo atingiu mais de 90km/h por 20 quilômetros. Sete anos depois, o VA VaMP foi apresentado com duas câmeras que processavam 320x240 pixels em um range de 100 metros. Com elas, o veículo reconhecia faixas das vias, sua posição em relação as faixas e a presença de outros veículos. Em um *test drive* perto de Paris, o VaMP atingiu até 130 km/h com sistema de troca de faixas operante em trânsito simulado.

Em 1995, a equipe de Ernst desenvolveu e adaptou um sistema de condução automática em um Mercedes S-Class. Então, a equipe pilotou o veículo de Munique na Alemanha a Odense na Dinamarca, totalizando mais de 1600 quilômetros e com velocidade de até 180km/h. Conforme Ernst disse "cerca de 95% do trajeto foi percorrido de forma completamente automática." Os sucessos desses veículos fizeram com que a direção das pesquisas de VAs migrasse das AHS para os veículos com sistemas de reconhecimento da via através de câmeras. (Vanderbilt, 2012)

Figura 6: Veículo Mercedes S-Class



Fonte: Wired (2012)

Ainda em 1995, especialistas em robótica da Universidade de Carnegie Mellon University testaram o seu protótipo de VA chamado NavLab 5, um Pontiac Trans Sport de Pittsburgh a Los Angeles nos EUA, em uma viagem apelidada de “*No Hands Across America*” (Sem mãos através da América).

Dos elementos adaptados responsáveis pela automação do NavLab 5, a equipe destacou um laptop, uma câmera montada no para-brisa e um receptor GPS. Segundo a equipe, o VA alcançou 98,2% de condução autônoma ao longo de todo o trajeto, sendo cerca de 113kms o trecho mais longo sem auxílio do motorista (Vanderbilt, 2012).

Figura 7: NavLab 5



Fonte: Wired (2012)

O Google vem trabalhando no seu projeto de VAs desde 2008. Tendo percorrido mais de 3 milhões de quilômetros no modo autônomo, o veículo produzido pela empresa é sem dúvida um marco no segmento.

O projeto foi iniciado pelo Sebastian Thrun, mesmo pesquisador que liderou o projeto do veículo autônomo Stanley na Universidade de Stanford. No Google, Sebastian foi o responsável por fundar e liderar o laboratório Google X, vertente criada para conduzir certos projetos, entre eles o VA. Em dezembro de 2016, a empresa Waymo foi fundada exclusivamente para dar continuidade ao projeto de autonomia veicular do grupo, liderado agora pelo CEO John Krafcik.

Por ser considerado, até o momento, o estado da arte em autonomia veicular, o veículo da Waymo será abordado com uma maior profundidade mais a frente ao longo do presente trabalho.

Dois VAs que foram produzidos no Brasil e vem sendo aprimorados merecem destaque, o CaRINA 2 e o Carro Autônomo Desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais (Cadu).

O CaRINA 2 é fruto de um trabalho realizado por alunos e pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) em um Fiat Palio Adventure, que agora possui controle computacional de esterçamento, aceleração e freio, podendo dessa forma ter o controle completo por computador da condução do veículo. O software utilizado no CaRINA 2 tem como base o sistema operacional Linux Ubuntu e a plataforma ROS para a comunicação entre os diversos processos (Wolf, 2015).

Figura 8: CaRINA 2



Fonte: Editado de USP (2015)

O veículo conta hoje com uma variedade de sensores, sendo eles:

- 1 LIDAR Velodyne HDL-32E
- 1 câmera estéreo PointGrey Bumblebee2

- 1 GPS Septentrio AsteRx2i
- 1 IMU Xsens MTi.

De forma a dar continuidade a pesquisa e o trabalho realizado no CaRINA 2, outros conjuntos de sensores e câmeras estão sob testes para futuramente integrarem o veículo. No entanto, o veículo já foi testado em vias públicas. Em 2013, na cidade de São Carlos o veículo percorreu as ruas da cidade de forma totalmente autônoma, obtendo êxito como resultado. Acredita-se que seja a primeira vez que um veículo percorre vias públicas de forma totalmente autônoma e com as devidas permissões legais na América Latina (Wolf, 2015).

Iniciado em 2007 pelo Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento de Veículos Autônomos (GPDA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o Cadu apresenta alguns diferenciais além da direção de forma independente. O veículo também é capaz de responder acelerando, freando e girando o volante a comandos de voz e joystick. Outro diferencial desenvolvido no Cadu é a capacidade de identificar buracos, lombadas e outros obstáculos na via, mudando o trajeto traçado inicialmente se necessário.

Segundo o coordenador do projeto, professor Guilherme Augusto Silva Pereira, todo o trabalho de adaptação física do veículo foi realizado pela UFMG, bem como o desenvolvimento dos softwares utilizados (Assessoria de Imprensa da UFMG, 2009)

Figura 9: Cadu



Fonte: UFMG (2009)

1.2O que é um veículo autônomo

Segundo o dicionário, autonomia trata-se da capacidade de autogovernar-se (Michaelis, 2017). Nesse sentido, o veículo autônomo é um veículo capaz de locomover-se de forma completamente autônoma. Lendo e Interpretando o mundo ao seu redor em tempo real, o veículo autônomo é responsável por interagir com todos os elementos à sua volta e, de forma completamente segura e otimizada, integrar-se ao sistema de trânsito convencional suprimindo as necessidades de locomoção de seus passageiros.

“When we no longer have a human driver in the loop, we think that the automated vehicle should be able to harness the full range of vehicle operating capabilities to avoid collisions, even if this means going sideways a bit to stay on the road” (Guedes, 2015).

“Quando não mais tivermos um motorista no loop, nós acreditamos que o veículo automatizado deva ser capaz de aproveitar toda a gama de capacidades operacionais do veículo para evitar colisões, mesmo que isso signifique derrapar um pouco para permanecer na estrada” [tradução nossa]

Uma vez entendido que um VA é responsável por todas as tarefas de condução, é de se supor que um veículo autônomo possua uma carga tecnológica extremamente elevada. Integrando uma série de sistemas, esse tipo de veículo coleta informações ao seu redor através de uma variedade de sensores, interpreta e processa essas informações através de uma alta capacidade de processamento e, por fim, atua de forma contínua e em tempo real aos elementos externos de acordo com a legislação vigente de trânsito e as premissas estipuladas pelos fabricantes.

1.2.1 Interpretação do meio

De forma a saber a sua localização exata no ambiente, o veículo autônomo possui um sistema GPS de alta precisão. Junto a ele, o veículo possui também sensores inerciais que complementam a sua precisão de posicionamento. Uma vez que a posição do veículo é precisamente definida, o veículo traça a rota desejada pelo passageiro através de mapas pré-carregados e conexão internet para download e upload de informações. O “*input*” do destino desejado pelo passageiro pode ser dado através de algum dispositivo periférico, por comandos de voz “*Speech*” ou até mesmo por serviço de *conciierge* dependendo das “*features*” disponibilizadas pelo veículo.

Para a leitura de todos os elementos no meio ao seu redor, o veículo utiliza uma gama de sensores de diferentes tipos, como câmeras, LIDAR (*Light Detection and Ranging*), radares, sensores ultrassônicos, microbolômetro e sensores infravermelhos. Cada qual com a sua função e importância, os sensores completam as limitações uns dos outros tornando o veículo autônomo mais isento de falhas, captando todos os detalhes do meio nas suas diferentes variações.

1.2.2 Capacidade de processamento e tratamento de dados

A capacidade de processamento do cérebro humano ainda está longe de poder ser simulada. Os computadores mais rápidos do mundo, ou supercomputadores, ainda que com uma capacidade extremamente elevada de processamento não são capazes de reproduzir o que o cérebro humano faz. Atualmente a velocidade de processamento de supercomputadores é baseada em petaflops, em outras palavras, quantos quadrilhões de operações básicas de matemática por segundo eles são capazes de resolver. O supercomputador mais veloz do mundo, o chinês Sunway TaihuLight, processa 94 petaflops por segundo, enquanto o cérebro humano seria capaz de calcular quinquilhões de operações cada segundo se toda a capacidade fosse utilizada apenas para isso. Além disso, um supercomputador atualmente necessita de todo um edifício para sua alocação e aproximadamente 100 megawatts para operar, já o melhor supercomputador da natureza necessita apenas uma caixa craniana de espaço e algo em torno de 20 watts do próprio corpo humano (Crosbie, 2016).

No âmbito da autonomia veicular, por mais que o veículo venha a substituir integralmente a necessidade de um condutor, a capacidade de raciocínio humano não precisa ser simulada. Pelo contrário, visto que a principal expectativa com o advento dessa tecnologia é a sobreposição da capacidade lógica computacional às falhas humanas em tomadas de decisão no trânsito. No entanto, testes mostram que a quantidade de dados gerados pelos sensores do veículo exigirá dos processadores uma alta capacidade de processamento.

Figura 10: Quantidade de dados produzidos por um VA



Fonte: Intel (2017)

Segundo a engenheira da *Intel Corporation* Kathy Winter, uma hora e meia é o tempo que uma pessoa comum dirige ao dia, e nesse período, um veículo autônomo gerará aproximadamente 4 terabytes de dados. À vista disso, o primeiro desafio será extrair desse volume a melhor capacidade possível de processamento, aprendizado e ação por parte do veículo.

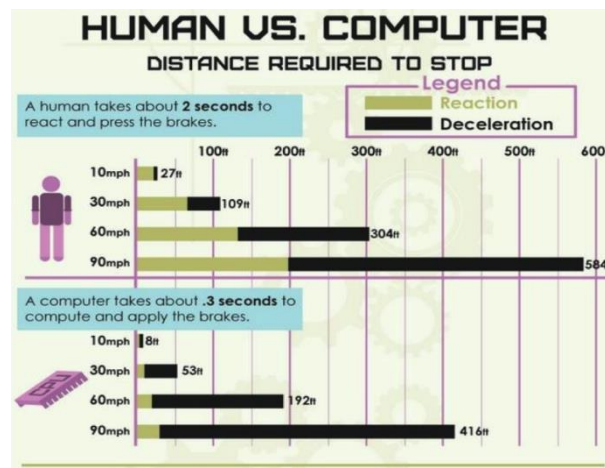
Adentrando agora no contexto da classificação dos dados, Winter ressalta que eles se dividem em três tipos: os dados técnicos, colaborativos e pessoais. Os dados técnicos são provenientes dos vários sensores responsáveis por permitir o veículo enxergar o mundo ao seu redor. Essas informações captadas são essenciais para identificação e compartilhamento de novos cenários, promovendo um melhoramento contínuo do software responsável pela autonomia dos veículos conectados às nuvens. Os dados colaborativos são dados compartilhados por veículos de uma mesma localidade. Eles permitem que veículos dessa localidade saibam de forma antecipada condições de tráfego e das vias. Por fim, os dados pessoais trazem todas as preferências dos passageiros de um determinado veículo, como estações de rádio, pontos de interesse no mapa e rotas preferidas. No entanto, ainda se precisa entender quais dados serão armazenados no veículo, quais serão eventualmente descartados, quais serão compartilhados e como se dará a segurança de todas essas informações.

1.2.3 Reação e integração aos elementos externos

Diminuir o tempo de reação e melhorar a capacidade de integração de veículos aos diferentes elementos externos significa uma melhor segurança no

trânsito. Nesse sentido, a expectativa da redução de mortes no trânsito é um dos principais fomentadores do VA. Ademais, exclusivamente ao que se diz respeito à integração de elementos externos ao VA, grande também é a promessa que o fluxo veicular, onde antes se tinha grandes congestionamentos, melhorará.

Figura 11: Tempo de reação do ser humano e de um computador



Fonte: LinkedIn (2013)

Onde: 1mph = 1,60934km/h e 1ft = 0,3048m.

Para se alcançar a confiabilidade esperada no que se concerne a tecnologia por trás da autonomia veicular, é imprescindível que o veículo seja capaz de extrair a máxima quantidade possível de dados da realidade ao seu redor e, através desses dados, proceder com as tarefas computadas o mais próximo da instantaneidade. Essas tarefas são ações de condução que antes eram de responsabilidade do motorista como acelerar, frear e direcionar o veículo. Agora, nessa tecnologia essas ações são integralmente realizadas por atuadores consistidos de motores elétricos e sistemas de servomecanismos.

1.3 Objetivos

O presente trabalho destina-se a conceituar com abordagens explicativas, técnicas e informativas as tecnologias de VAs, desde fundamentos até as suas aplicações na sociedade. Aqui também é abordado o que é necessário para um veículo alcançar o mais alto nível de autonomia e o que o diferencia de modelos mais

convencionais através de critérios padronizados pela *SAE International* – associação internacional de engenheiros e especialistas, dentre outras indústrias, da indústria automotiva –. Além disso, neste trabalho também é levantado o que ainda impede a tecnologia de chegar ao mercado, sejam elas restrições tecnológicas, burocráticas ou culturais. No entanto, são levantadas também todas as mudanças benéficas nas diferentes áreas de aplicação que um veículo autônomo pode propiciar.

1.4 Estrutura

Em uma sequência lógica, este trabalho inicia-se abordando as características e propriedades de um veículo autônomo no tópico 2, aprofundando nos conceitos teóricos da cinemática e dinâmica de veículos considerando a atuação de ADAS, sistemas estes que serão abordados com profundidade ao longo do trabalho. Ainda no tópico 2, é apresentada uma classificação de autonomia veicular, onde é explicitado com detalhes as diferenças entre veículos sem autonomia, semiautônomos e autônomos em cinco diferentes níveis.

Já tópico 3, são descritos primeiramente quais são os elementos necessários em um VA, tema essa já iniciado no subtópico 2.4 “Classificação”. Na sequência, o trabalho passa a elucidar quais são os requisitos e restrições que há para com o VA e, de forma complementar, no subtópico seguinte toda a tecnologia por trás envolvida.

No tópico 4, são vistas todas as vertentes em que a autonomia veicular pode atuar, sendo que cada vertente é separada por um subtópico. À frente, no tópico 5 são trazidos os principais projetos que envolvem avanço tecnológico na área, desde veículos semiautônomos já no mercado até o estado da arte em veículos autônomos já em testes.

Por fim, antes das considerações finais, o tópico 6 clarifica como a mobilidade veicular pode ser remodelada sob novos padrões tecnológicos e comerciais com a popularização de VAs e o novo mercado que eles oferecem.

2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE UM VEÍCULO AUTÔNOMO

2.1 Caracterização

O VA, em síntese, tem a capacidade de dirigir de forma independente. Mas para isso, é necessário o uso de diversos elementos tecnológicos trabalhando de forma integrada e sincronizada, permitindo, dessa forma, o deslocamento seguro desse tipo de veículo. Eles captam e analisam a imagem do ambiente a sua volta e também as suas condições, e com isso podem circular pelas vias com a melhor velocidade possível e prontos para reagir a obstáculos.

Os VAs são capazes de avaliar as situações em 360°, ao contrário dos seres humanos, e assim podem reagir com maior agilidade e rapidez em ocasiões de perigo. Além disso, o VA não sofre dificuldades como distração, cansaço, embriaguez, imprudência e irritabilidade. Por outro lado, esses veículos também podem promover benefícios sociais de melhoria no tráfego, formulação de rotas e a comunicação entre os veículos, o que evita conflitos e acidentes de trânsito.

Existem diversos componentes essenciais para que o carro possa desempenhar suas funções. A início, o carro deve ver, isto é, detectar o que está na frente dele, depois interpretar a situação e analisar o melhor curso de ação.

Com isso, são necessários alguns sensores - Radar, Sonar e Lidar – que têm a função de visualizar obstáculos através de detecção e sensoriamento. Radar (detecção de rádio e telemetria) transmite ondas de rádio e o Sonar (sistema de navegação e telemetria) emite ondas sonoras ao identificar objetos. Esses sensores emitem um sinal, coletam o reflexo e calculam o tempo entre eles para calcular a distância entre o veículo e os obstáculos. O Lidar (Detecção de Luz e Telemetria) gira constantemente, usando feixes de laser para gerar um conjunto de coordenadas correspondentes aos locais de reflexões dos feixes emitidos.

Na verdade, esses três sensores agem exatamente da mesma forma: eles emitem um sinal (rádio, ultrassom ou laser) que pode ser refletido se houver um obstáculo ao alcance do veículo. Quando o sinal for refletido, o sensor detecta onde ocorreu. No caso de Radar e Sonar, a direção é fixa e assim a análise é simples. No caso do lidar, os sinais são muitas vezes emitidos em diferentes direções e para cobrir

360 graus, usa-se um espelho que se move e capta os sinais de reflexão, e cada uma dessas instruções terá uma análise diferente.

Desse modo, esses sensores têm a capacidade de executar varreduras em todas as direções, através de dezenas de milhares de leituras por segundo. Com essas informações, é possível interpretá-las e depois tomar decisões de locomoção.

O “computador central” avalia as informações dos sensores e compara todas as outras informações constadas e armazenadas para avaliar as condições de condução atuais. E também, os VAs necessariamente dispõem de um GPS de alta precisão para localizar-se no mapa do local. O que também possibilita através de nuvem um veículo informar aos outros da mesma área sobre um acidente na via, guiando-os assim para uma mudança de curso.

Com esses veículos disponíveis, o motorista deixa de ser apenas um motorista para ser um passageiro do carro. Mesmo que ainda não tenham lançado um carro totalmente autônomo no mercado, muitos projetos já estão em andamento.

2.2 Cinemática Veicular

A cinemática de um veículo é caracterizada pela análise dos movimentos a serem realizados pelo veículo, independentemente da origem das forças que criam essa movimentação. Logo é preciso avaliar diversos conceitos físicos como: posição, tempo, distância, trajetória, deslocamento, aceleração, direção, velocidade, vetor e sentido. Com isso, um VA utiliza complexos sistemas de controle e seus diversos sensores para analisar todos os movimentos necessários de acordo com sua rota e as condições externas, a fim de agir de modo ideal.

Esse conceito é intrínseco às condições de atuação do veículo. As equações referentes à cinemática de esterçamento da direção e suspensão de cada modelo de VA necessariamente são consideradas no sistema de controle de cruzamento adaptativo, assistência de congestionamento, de faixa e de troca de faixa, por exemplo.

2.3 Dinâmica Veicular

A dinâmica veicular é responsável por relacionar o motorista, o veículo e o ambiente em que circulam. Essa relação pode ser esclarecida, basicamente, através de quatro áreas: Dirigibilidade, aderência ao pavimento, movimentação vertical e NVH (Ruído, Vibração e Aspereza). De acordo com a dirigibilidade, o VA reage de maneira otimizada sob diferentes condições, adotando as velocidades adequadas para cada tipo de via e de acordo com as condições do trânsito, garantindo grande estabilidade nas viagens. Em relação a aderência ao pavimento, por meio do controle da suspensão, os VAs conseguem manter suas rodas em constante contato com o solo, já que suas reações em relação ao meio são adaptadas de acordo com as características do pavimento ao longo do percurso. A movimentação vertical de um veículo é também, no caso de um VA, otimizada através do controle ativo da suspensão. Essa otimização visa proporcionar o maior conforto aos passageiros em face da movimentação oscilatória do veículo quando em contato com um pavimento irregular. Por fim, quando se trata de NVH (ruído, vibração e aspereza), os VAs devem assumir posição de destaque. Esse tipo de veículo, ao que a indústria automotiva indica, possuirá motor elétrico ou híbrido, assegurando, dessa forma, o coeficiente de NVH mais baixo possível.

O controle ativo da suspensão citado acima é uma nova tecnologia integrado em alguns sistemas de controle de estabilidade. No VA esse sistema, bem como o de tração, é essencial para o alcance da excelência da dinâmica veicular.

2.4 Classificação

No mercado já se encontram disponíveis vários modelos de veículos semiautônomos, grande maioria no mercado internacional. Essa categoria de veículo conta com diversos sistemas que auxiliam o condutor. Entretanto, ainda que com essas praticidades tecnológicas, o VS não é capaz de se locomover sem um motorista na direção na maior parte do tempo e, mesmo quando não está, deve estar pronto para assumi-la.

Um VA possui uma inteligência mais elaborada, sendo a interação entre os seus sistemas mais complexa. Nesse tipo de veículo, o sistema GPS possui não mais

apenas uma função de localização para o condutor, mas agora de controle de navegação. As informações provenientes do sistema GPS, assim como as informações provenientes das câmeras e sensores, são fontes essenciais para o processamento e, por consequência, o controle.

O volante, câmbio e os pedais passarão a não ser mais necessários em um VA, ou ao menos possuirão apenas uma função coadjuvante enquanto as leis de trânsito exigirem esses elementos em uma possível situação de emergência.

Com o avanço da tecnologia presente nesse tipo de veículo, muito mudará a forma como se vê a locomoção veicular, não só no sentido da condução de um veículo, mas sim toda a praticidade de mobilidade que ele virá a trazer. É muito comum hoje uma família possuir vários carros na garagem, um para cada membro da família que seja motorista. Provavelmente já na próxima década isso mudará: com o aumento da confiança nessa nova tendência tecnológica e adaptação das leis de trânsito um veículo para uma família poderá ser suficiente. Imagine poder chamar o seu veículo pelo *smartphone* após ele ter deixado a sua esposa no trabalho? Ou deixar a tarefa de levar o seu filho para a escola apenas para o veículo? O compartilhamento de VAs é uma tendência que virá intrinsecamente à autonomia veicular.

De forma a completar o raciocínio explicitado acima, encontra-se no “Anexo A” a tabela que categoriza os veículos através dos seus níveis de autonomia, segundo os critérios da SAE International. Em 2013, a Administração Nacional de Segurança de Tráfego Rodoviário (NHTSA) do Departamento de Transportes dos EUA definiu cinco níveis diferentes de condução autônoma. No entanto, em outubro de 2016 a NHTSA também atualizou oficialmente sua política de acordo com os níveis de autonomia delineados pela SAE International.

2.5 Conclusão

Sob uma constante evolução tecnológica, o veículo automotor é produzido para um público cada vez mais exigente. Os benefícios providos pela tecnologia vêm estimulando cada vez mais o aumento do grau de exigência para com os veículos ao passo que surgem novas tendências. Onde antes se via apenas o benefício da locomoção, hoje se vê segurança, conforto, eficiência e tecnologia embarcada.

A disseminação de uma eletrônica cada vez mais evoluída no setor automotivo permitiu que os veículos fossem classificados em níveis de autonomia. Ainda que a grande maioria dos veículos ainda não possuam nenhum sistema de assistência ao motorista, hoje já se têm veículos semiautônomos no mercado e veículo completamente autônomos em fase de testes.

Em um mundo onde se tem o conceito do tempo como recurso cada vez mais valioso, é de se esperar que o avanço da tecnologia seja direcionado também para a automação de produtos e processos. Nesse sentido, o VA traz uma nova ótica sobre os todos os proveitos que se pode ter de um veículo. Ler, trabalhar, relaxar e/ou simplesmente aproveitar a viagem, por exemplo, irão suceder o dirigir enquanto o VA otimizadamente se conduz. Além do mais, muito se espera do VA no que concerne à segurança e a redução de morte no trânsito, conforto interno devido aos não mais necessários instrumentos de direção, eficiência em termos consumo e a conectividade embarcada disponível aos passageiros.

3 REQUISITOS E RESTRIÇÕES DA TECNOLOGIA

3.1 Requisitos

Um dos requisitos mais evidentes que se pode apontar em VAs é que antes de se introduzi-los no mercado, há a necessidade da popularização de veículos híbridos e elétricos na sociedade. Isso porque, há questões técnicas por trás da necessidade do VA ser exclusivamente elétrico. Considerando que os subsistemas de um VA irão requerer mais eletricidade do que as tecnologias em veículos convencionais exigem, em termos de arquitetura, faz mais sentido que a fonte de alimentação destes seja a mesma que a fonte de alimentação do veículo. Além do que, o motor elétrico é mais fácil e preciso quando controlado por meios eletrônicos que o motor a combustão, ademais, as baterias podem ser carregadas de autonomamente através do carregamento wireless, ao contrário do combustível.

"There are a lot fewer moving pieces in an electric vehicle. There are three main components — the battery, the inverter and the electric motor. An internal combustion engine contains 2,000 tiny pieces that have to be kept lubricated and they break every once in a while." (Levi & Gardner, 2016)
"Há muito menos peças em um veículo elétrico. Existem três componentes principais - a bateria, o inversor e o motor elétrico. Um motor a combustão interna contém 2.000 peças pequenas que precisam ser lubrificadas e que quebram de vez em quando" [tradução nossa]

Por outro lado, muitos testes precisam ser feitos para assegurar a eficiência e a segurança das respostas desses veículos no ambiente urbano e rural. Muitas empresas ainda necessitam realizar maiores quantidades de testes para que a aplicação desses veículos seja segura e eficiente. Outro requisito importante, é que as corporações que estão desenvolvendo VAs ainda precisam criar tecnologias que diminuam os custos de fabricação, e implantação. Desse modo, são necessários alguns avanços que possibilitem a utilização desses veículos por toda a população.

Além disso, percebe-se que as cidades ainda não estão preparadas para receber esse tipo de veículo, devido à falta de infraestrutura e adaptações necessárias para o bom funcionamento dos VAs pelas vias públicas.

3.2 Restrições

É indiscutível o fato que os VAs trarão muitos benefícios à sociedade em termos de mobilidade. No entanto, mesmo antes que estejam sendo produzidos em escala eles já enfrentam uma grande e sólida barreira: Os códigos de trânsito dos países ao redor do globo.

Os acidentes de trânsito certamente diminuirão drasticamente, e muito provavelmente a gravidade dos acidentes diminuirão na mesma proporção. Entretanto, isso não significa que eles não ocorrerão e quando ocorrerem, o elemento causador e o responsável legal pelo acidente precisarão ser identificados. Mas como atribuir a responsabilidade legal por um acidente quando, por exemplo, o VA tiver de decidir entre evitar o atropelamento de um animal que estiver atravessando a via ou evitar se colidir com um outro veículo? Situações como essa, em que a tomada de decisão de um VA é posta em cheque certamente acontecerão, no entanto, elas dependerão do quão inteligentes os VAs serão para essas adversidades, da possibilidade de intervenção do passageiro/motorista e, nesse sentido, dos requisitos que os códigos de trânsito virão a ter para esses tipos de veículos.

“Sempre existirão fatores externos que podem contribuir para a ocorrência de acidentes. O nosso trabalho é fazer com que o carro se adapte para evitá-los” (Wolf, 2015).

Conforme a presença dessa nova tecnologia estiver mais próxima da realidade, a necessidade de uma questão regulamentar se torna cada vez maior. Especialistas de direito civil e penal se dividem em diferentes opiniões com relação a futura necessidade da mudança do Código Brasileiro de Trânsito (CTB). No Brasil, a questão ainda não vem sendo muito discutida, mas alguns especialistas já se posicionaram.

Para o advogado Rodrigo Matheus, diretor do Instituto dos Advogado de São Paulo (IASP) e consultor de transporte público, não se pode através da legislação brasileira afirmar que a responsabilidade civil já está totalmente definida. Em tese, quem adquirir o veículo e o utiliza é responsável pelo mesmo e os eventuais danos que venham a ocorrer, mesmo que não esteja o conduzindo. Entretanto, segundo o advogado, é entendível que em certas situações críticas a máquina terá dúvidas e

acidentes poderão ocorrer e, nesse caso, não há imprudência humana. Diante disso, será necessária uma reforma do Código de Trânsito Brasileiro que preveja a figura do “motorista virtual” (Maia, 2015).

Sob outra perspectiva, o advogado Rodrigo de Souza Leite, especialista em direito processual, entende que com a atual legislação é possível identificar a total responsabilidade por parte da montadora em um acidente causado por um VA. “Hoje quem responde por um acidente de trânsito é o condutor e o proprietário do veículo. Por omissão ou por conduta culposa. No caso de um veículo 100% autônomo, em que o motorista se torna apenas um passageiro, não há como responsabilizá-lo”, afirma. Segundo o advogado, hoje os veículos possuem uma alta tecnologia, com várias funções autônomas, no entanto, o controle da direção ainda continua sendo do motorista e por consequência a responsabilidade também. Em outras palavras, enquanto o motorista puder intervir na condução do veículo, ele possui a responsabilidade do mesmo (Maia, 2015).

Esse mesmo tópico vem sendo abordado nos EUA, sendo que alguns estados já regulamentaram as condições para a circulação de VAs. O estado da Califórnia por exemplo, exigiu que o Google – Atualmente Waymo é a vertente do Google responsável pelo desenvolvimento do VA do conglomerado – instalasse em seu veículo volante e pedais, além de circular sempre com um motorista habilitado para intervir na condução sempre que necessário.

Nos países subdesenvolvidos ou mesmo em desenvolvimento, os VAs não serão comercializados na próxima década, ao contrário do que tudo indica nos EUA e países da União Europeia. Segundo o professor Edvaldo Simões da Fonseca Jr, da Poli-USP, no Brasil ainda há um longo caminho por ser percorrido. “Tem gente que fala de carros 100% autônomos, sem necessidade de qualquer intervenção do motorista, dentro de cinco anos. No Brasil, acredito que estamos falando num prazo entre 20 e 30 anos”, afirma.

3.3 Tecnologias

Composto por diversos sistemas de assistência ao motorista, o VS mesmo que distante do VA, integra o mercado de veículos de luxo, possuindo também uma alta carga tecnológica. Cada um destes sistemas encarecem o veículo e propiciam

uma maior comodidade ao motorista. Abaixo segue uma descrição dos principais sistemas de assistência disponíveis no mercado:

- Sistema de controle de cruzeiro (*Cruise Control*)

Em veículos, o controle de cruzeiro é um sistema eletrônico utilizado para fixar uma velocidade pré setada pelo motorista, seja em aclives ou declives a velocidade é controlada e mantida pelo sistema. Esse controle traz um conforto em viagens longas, já que permite que o motorista descanse o pé direito ao invés de controlar a aceleração do veículo. Para que o controle da aceleração seja retomado pelo condutor, basta que ele pise no freio ou no acelerador.

- Sistema de controle de cruzeiro adaptativo (*Adaptive Cruise Control*)

No sistema de controle de cruzeiro adaptativo se vê uma grande vantagem em relação ao sistema de controle de controle de cruzeiro convencional. Esse sistema eletrônico além de ser utilizado para fixar uma velocidade pré setada pelo motorista, ele mantém uma distância segura do veículo à frente.

Quando comparado ao sistema anterior, o controle de cruzeiro adaptativo provê um conforto ainda maior em viagens longas, já que esse controle permite que o motorista descanse os dois pés ao invés de controlar a aceleração e o freio do veículo. Para que o controle da aceleração seja retomado pelo condutor, basta que ele pise no freio ou no acelerador.

- Sistema de assistência de congestionamento (*Traffic Jam Assist*)

Ao ser ativado, o sistema de assistência de congestionamento assume o controle do freio e da aceleração do veículo. O controle é executado desde o repouso até uma determinada velocidade a depender do fabricante, poupando o motorista do desgaste provocado por um congestionamento.

- Sistema limitador de velocidade (*Intelligent Speed Adaptation - ISA*)

O Sistema limitador de velocidade é uma tecnologia que permite o condutor controlar a aceleração do veículo até uma velocidade pré setada pelo mesmo. Esse sistema possui duas vertentes: passiva e ativa. No limitador de velocidade passivo o sistema alerta o motorista que a velocidade por ele estipulada está sendo ultrapassada, normalmente através de alertas luminosos e sonoros. Enquanto que o limitador de velocidade ativo (*Active ISA*) atua da desaceleração do veículo até que a velocidade esteja dentro do limite.

- Sistema de Assistência de troca de faixa (*Lane Change Assist*)

O sistema de assistência de troca de faixa, na forma passiva, vem se tornando popular à medida que a tecnologia embarcada nos veículos avança. Também conhecido como alerta de ponto cego, geralmente, esse sistema traz um aviso luminoso constante no retrovisor enquanto algo estiver no ponto cego do veículo. Quando a seta for acionada pelo condutor e algo ainda encontrar-se no ponto cego, o aviso luminoso passa a ser piscante.

Na forma ativa (*Active Lane Change Assist*), duas vertentes para o sistema de assistência de troca de faixa foram desenvolvidas. A primeira é responsável por evitar colisões no momento da troca de faixa. Quando o motorista não percebe, por exemplo, uma motocicleta no ponto cego e mesmo assim procede com a troca, o veículo com reação em cascata avisa o motorista através de alertas luminoso e sonoro, e em seguida, freia e/ou corrige a direção para que o veículo se mantenha na faixa em que se encontrava anteriormente. A segunda – vertente do sistema de assistência de troca de faixa ativa criada recentemente pela fabricante Mercedes Benz – foi desenvolvida com o intuito de dar condições ao veículo realizar a troca de faixas de maneira completamente autônoma e segura. Primeiramente, através de sensores laterais e câmeras, ele faz a verificação dos pontos cegos e possível aproximação de veículos em alta velocidade, e então, realiza a troca. Para tal, o motorista deve pressionar a seta por mais de dois segundos e estar dirigindo a uma velocidade entre 80km/h e 180km/h (Christian, 2015).

- Sistema de Assistência a manutenção de faixa (*Lane Assist*)

O sistema de assistência a manutenção de faixa, quando em operação, auxilia o motorista na contínua correção do posicionamento do veículo entre as faixas da via. Auxilia porque, os fabricantes não garantem que o sistema funcione, pelo menos até o momento, em todas as condições meteorológicas e de trânsito da via.

- Alerta de saída de faixa (*Lane Departure Warning*)

De forma similar ao sistema de assistência a manutenção de faixa, o alerta de saída de faixa visa alertar o motorista que o veículo está sendo conduzido em direção a faixa da esquerda ou direita. No entanto, a orientação do veículo não é corrigida com essa tecnologia. O aviso geralmente se dá através de vibração no volante, alerta luminoso e sonoro.

- Sistema de frenagem de emergência (*Active Braking Assist*)

O sistema de frenagem de emergência é um sistema embarcado de segurança ativo. Quando o motorista não responde aos avisos luminoso e sonoro emitido pelo veículo que indicam uma eminente colisão, a frenagem é então realizada de forma autônoma, evitando possíveis acidentes por colisão ou atropelamento. A identificação dos elementos externos se dá através de sonares, câmeras e sensores ultrassônicos, enquanto a frenagem é controlada com atuadores presentes nos freios.

- Alerta de Colisão Frontal (*forwarding collision Warning*)

O alerta de colisão frontal consiste em avisos luminoso e sonoro que indicam que o motorista está perto do veículo a frente. A intensidade do aviso sonoro varia ao passo que essa proximidade aumenta. O nível de alerta muda de "seguro" para "crítico" à medida que a distância a diminui, tornando a frequência o

aviso sonoro emitido maior. No entanto, essa tecnologia não possui nenhuma característica ativa, ao contrário do sistema de frenagem de emergência.

- Sistema de Assistência de estacionamento (*Parking Assist*)

O sistema de assistência de estacionamento propicia uma grande facilidade aos motoristas, principalmente nos grandes centros urbanos onde se há uma elevada quantidade de veículos e uma baixa disponibilidade de vagas para estacionar. Com esse sistema de assistência, o motorista não necessita mais manobrar o veículo para estacioná-lo ao encontrar uma vaga. O próprio veículo, através dos sensores ultrassônicos, reconhece a vaga e, na sequência, se possuir atuadores no acelerador e freio realiza a manobra sem a atuação do motorista. Quando não, o motorista apenas é responsável por acelerar e frear o veículo enquanto este realiza a baliza.

- Sistema de controle de estabilidade (*Electronic Stability Control*)

Veículos que dispõem do sistema de controle de estabilidade são, de fato, muito mais seguros. Segundo especialistas, após o cinto de segurança esse sistema de controle é o mais importa no que se concerne à segurança veicular. (Pagliarini, 2017)

O sistema de controle de estabilidade atua impedindo que o motorista perca o controle da direção em situações crítica, como desvios repentinos, capotamento e aquaplanagem, tomando então, medidas efetivas para manter o veículo em curso.

Durante a condução, o módulo eletrônico de estabilidade – responsável por interpretar os dados vindos dos sensores de velocidade das rodas, sensor do ângulo de esterçamento do volante, de guinada e de inclinação da carroceria (sensor yaw) – pondera a trajetória do veículo e os comandos de direção do motorista. Caso não forem correspondentes, o sistema de controle de estabilidade atua de forma a corrigir a trajetória atuando em uma ou mais rodas dependendo da circunstância e, até mesmo, na potência do veículo para que a estabilidade seja restaurada.

- Sistema de controle de tração (*Traction Control System*)

Categorizado como um sistema de controle ativo, o sistema de controle de tração impede as rodas que tracionam o veículo de perder contato com o solo quando a força enviada às rodas é reduzida, evento que ocorre principalmente em curvas e arrancadas. Nesse sentido, esse sistema atua no limiar entre a máxima potência transmitida às rodas e a derrapagem.

O controle de tração consiste em sistema eletrônico, que por sua vez é gerenciado por uma central eletrônica atuante nos freios e potência do veículo. Sua principal característica é impedir que alguma roda tenha mais tração que a outra por esta última ter mais aderência. Isso ocorre quando os sensores presentes nos freios ABS identificam a eminência da patinação de uma roda e imediatamente comunica o central eletrônica para o controle da injeção de combustível e, por consequência, a diminuição da potência do motor. Além disso, o central atua acionando o freio ABS para o bloqueio da roda sem aderência ao solo, evitando, como dito antes, que a tração recebida pelas rodas não seja a mesma.








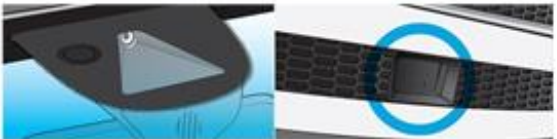
- Freios ABS (*Anti-lock braking system*)

Já disseminado em veículos convencionais, os freios ABS continuam sendo uma importante ferramenta aos VSs. Esses freios evitam o travamento das rodas, mesmo quando o pedal é pressionado fortemente. Assim sendo, em uma situação de emergência onde o motorista pisa bruscamente no pedal de freio, os pneus não perdem a aderência ao solo, permitindo que se tenha, mesmo nessas circunstâncias, controle da direção.

Montadoras como BMW, Infiniti, Fiat, Ford, GM, Hyundai, Kia, Mercedes Benz, Tesla, Toyota, Volkswagen e Volvo vêm trabalhando em seus modelos de VA baseando-se em toda a tecnologia empregada em seus VSs, tendo a maioria já prometido para a partir de 2020 lançar suas primeiras versões autônomas. Enquanto isso, conforme dito anteriormente, no momento presente já é possível desfrutar das praticidades que os modelos semiautônomos têm a oferecer. Abaixo se tem quatro

modelos VSs e as suas principais características no que concerne à sistemas de assistência ao motorista:

Figura 12: Comparativos entre quatro modelos de VSs

BMW 750i	Infiniti Q50S
<p>Preço Base : \$ 98,395</p> <p>Sistemas de assistência ao motorista: Driver Assistance Plus, Active Driving Assistant Plus</p> <p>Câmeras e sensores : 1 câmera estéreo e 5 radares</p>	<p>Preço Base : \$44,555</p> <p>Sistemas de assistência ao motorista: Intelligent Cruise Control, Predictive Forward Collision Warning, Forward Emergency Braking, Lane Departure Warning/Prevention, Active Lane Control</p> <p>Câmeras e sensores : 1 câmera e 1 radar</p>
<p>A câmera estéreo localizada pelo do espelho retrovisor no parabrisa dá a percepção de profundidade para identificar pedestres e marcações na pista. Cinco unidades de radar, incluindo um na grade inferior monitoram o tráfego em todas as direções.</p>	<p>Uma câmera no parabrisa fornece uma visão para o controle de faixa enquanto outras operam os limpadores de parabrisa em caso de chuva e também faróis. O radar no lado esquerdo da grade permite o controle de velocidade no modo autônomo de controle de direção.</p>
	
	
Mercedes-Benz S65 AMG	Tesla Model S
<p>Preço Base : \$ 233,525</p> <p>Sistemas de assistência ao motorista: Distronic Plus with Steering Assist, Adaptive Brake Technology, Active Lane Keeping Assist</p> <p>Câmeras e sensores : 1 câmera estéreo e 5 radares</p>	<p>Preço Base : \$105,200</p> <p>Sistemas de assistência ao motorista: Auto Pilot, Auto Steer, Auto Lane Change, Auto park, Traffic Aware Cruise Control</p> <p>Câmeras e sensores : 1 câmera, 1 radar e 12 sensores ultrasônicos</p>
<p>Assim como a BMW, a Mercedes-Benz utiliza um sistema de câmera estéreo disposto atrás do parabrisa para a identificação das marcações da pista, além de um conjunto de cinco radares direcionados para a frente e para os lados para detectar o tráfego tanto nas proximidades quanto em maiores distâncias.</p>	<p>Uma câmera no parabrisa e um radar montado na parte de baixo da grade dão ao Model S o que parece ser a visão 20/20 (visão humana normal). Sensores ultrasônicos (não mostrados) verificam se há um caminho livre ao lado antes de realizar uma mudança de faixa de forma autônoma.</p>
	
	

Fonte: traduzido e editado Caranddriver (2016)

De modo a avaliar as atuais tecnologias referentes à autonomia de veículos no mercado, o website americano *Caranddriver* realizou testes com os quatro veículos acima e suas capacidades de suprir as fragilidades humanas nesse sentido e, ao fim

das avaliações, comparou os resultados. No sentido horário são: BMW 750i, Infiniti Q50S, Tesla Model S e Mercedes-Benz S65 AMG (Sherman, 2016).

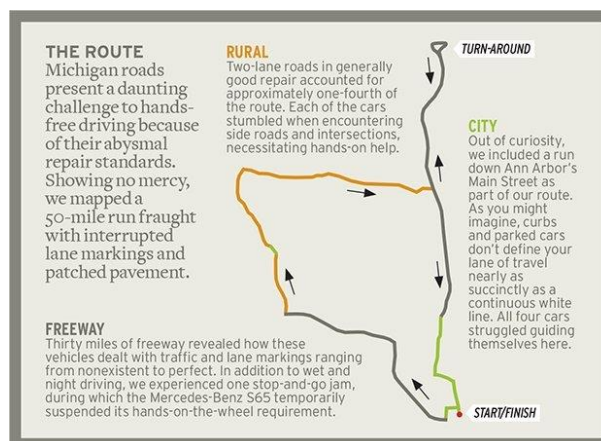
Figura 13: Modelos testados



Fonte: Caranddriver (2016)

O teste realizado em Michigan consiste em avaliar a autonomia de direção oferecida pelos quatro modelos acima em um circuito fechado. O circuito é composto por três diferentes trechos com total de 80km, sendo eles urbano, rodoviário e rural. Ao longo do circuito haviam várias interrupções nas faixas, bem como diversos remendos no asfalto com o intuito de aumentar a dificuldade para os modelos comparados (Sherman, 2016).

Figura 14: Percurso utilizado para o teste



Fonte: Caranddriver (2016)

O trecho rodoviário composto por cerca de 50kms revelou como esses veículos lidam com faixas que variam de inexistente a perfeita. Além disso, os quatro modelos também foram postos à prova em rodovia molhada durante a noite e em

congestionamento, durante o qual o modelo Mercedes-Benz S65 suspendeu temporariamente a exigência de mãos no volante (Sherman, 2016).

Composto por estradas de duas pistas – geralmente em bom estado – o trecho rural representou aproximadamente um quarto da rota do circuito. Nesse trecho, todos os quatro veículos apresentaram dificuldades quando encontraram estradas laterais e interseções, necessitando então que o motorista tomasse o controle da direção (Sherman, 2016).

Parte integrante da rota, o trecho urbano trouxe grande dificuldade aos veículos avaliados. Os modelos tiveram que lidar a todo momento com veículos estacionados, tráfego intenso e todas as outras dificuldades que trânsito em uma cidade pode trazer (Sherman, 2016).

Ao fim dos 80km com trechos de rodovia, estrada e urbano foram contabilizadas quantas interrupções de condução autônoma ocorreram. Também foram observadas as interrupções quando os veículos perderam a referência da pista sem nenhuma causa aparente. Ao fim, os quatro modelos foram classificados de acordo com o número de lapsos de controle que cada um apresentou (Sherman, 2016).

Tabela 1: Resultado do teste

	Tesla	BMW	Mercedes	Infiniti
Range de velocidade no modo autônomo de direção (km/h)	29-143	31-171	32-190	31-175
Resposta a intrusos no modo automático de direção	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Número de interrupções no modo controle de faixa	29	56	58	93
Performance do modo de controle de faixa a noite, sob chuva	Bom	Bom	Bom	Bom
Habilidade de troca autônoma de faixa	Sim	Não	Não	Não
Assistente de estacionamento	Sim	Sim	Sim	Não

Fonte: Traduzido de Caranddriver (2017)

Em julho deste ano, a Audi anunciou seu novo sedã de luxo A8 em Barcelona, e como é de se esperar, este carro é repleto de recursos de alta tecnologia. Nele, há um novo motor híbrido, sistema de infotainment, suspensão elétrica ativa e diversos outros sistemas de assistência ao condutor. Com isso, a Audi afirma que o A8 é o primeiro veículo de produção com autonomia de nível 3, o que o tornaria um dos carros mais altamente automatizados na estrada quando ele estiver em venda no próximo ano. Usando uma combinação de LIDAR, uma câmera frontal, radares e

sensores ultrassônicos, Audi diz que o A8 é capaz de dirigir sozinho a velocidades de até 60km/h.

Figura 15: Primeiro VS level 3, o Audi A8



Fonte: The Verge (2017)

Há ainda um novo sistema de assistência de estacionamento. Usando o aplicativo de smartphone MyAudi, os motoristas podem chamar ou estacionar seu carro remotamente enquanto veem de fora do veículo ou em seu *smartphone*, através das câmeras do A8.

Outra característica interessante é a plataforma de suspensão eletromecânica ativa do A8. Dependendo dos desejos do motorista e da situação de condução, é possível elevar ou rebaixar cada roda separadamente através de atuadores elétricos. Além disso, com o auxílio da câmera frontal, o carro pode ser elevado quase que instantaneamente se houver uma colisão lateral iminente, diz a Audi, reduzindo as consequências de um potencial acidente para todos os ocupantes. A Audi tem planos para começar a vender veículos autônomos de Nível 4 até 2020 (Hawkins, 2017).

3.3.1 Sensores

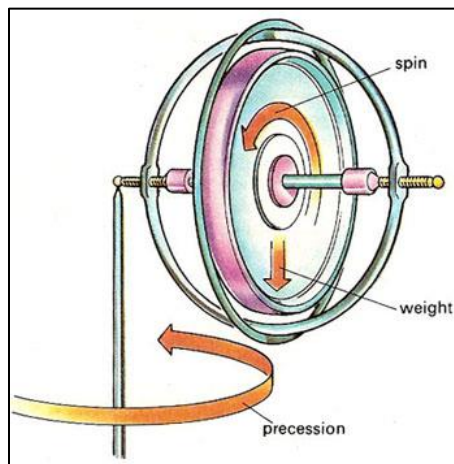
Da mesma maneira que os 5 sentidos são importantes para que o ser humano sinta e interaja com o mundo ao seu redor, sensores dos diferentes tipos são para os veículos, de modo que os possibilitam ser capazes de ler e interpretar e agir aos elementos externos a eles, a depender dos seus níveis de autonomia. No segmento automotivo os sensores são subdivididos em duas categorias:

- Sensores proprioceptivos (responsáveis pela detecção do estado do próprio veículo, como os sensores de velocidade das rodas e inerciais.)
- Sensores exteroceptivos (responsáveis pela detecção do ambiente, como câmeras, LIDAR, RADARs, sensores ultrassônicos, etc.)

3.3.1.1 Sensores inerciais

Giroscópio por definição é um sensor capaz de identificar a posição angular de um objeto ao qual ele está acoplado. Composto por um rotor suspenso envolto por carcaças articuladas, o giroscópio é capaz de perceber e medir a velocidade de rotação, a partir da qual se calcula o ângulo.

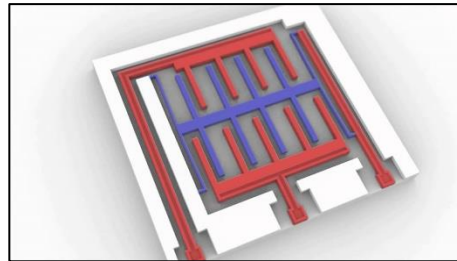
Figura 16: Giroscópio Conceitual



Fonte: DavidDarling (1998)

O acelerômetro, por sua vez, também chamado de sensor de aceleração é composto por dois capacitores – neste caso, um para o eixo x e outro posicionado perpendicularmente para o eixo y – formados por eletrodos em formato de pente, montados no interior do sensor de forma a quase se encaixarem.

Figura 17: Capacitor do sensor de aceleração

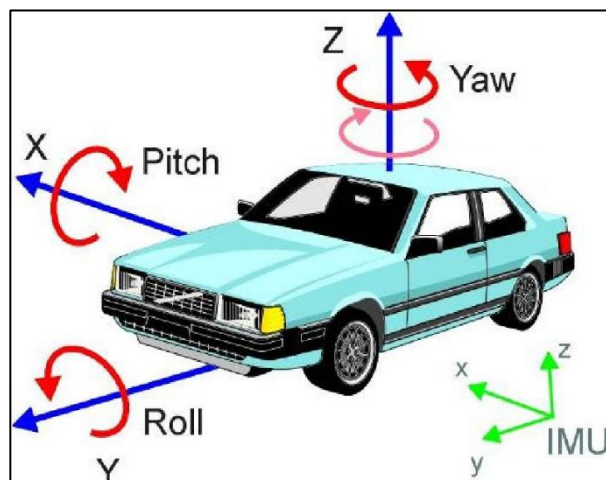


Fonte: Bosch (2015)

Durante a aceleração, os eletrodos com características elásticas se deslocam devido à inércia, de modo que a distância entre os "pentos" se reduz em relação a um eletrodo e aumenta em direção ao outro, identificando assim a aceleração em um determinado eixo pela diferença de potencial.

Juntos, giroscópios e acelerômetros integram a Unidade de Medição Inercial (*Inertial Measurement Unit* - IMU) com a função de obter informações referentes a dinâmica do veículo. A unidade provê um fluxo contínuo de dados relacionados à aceleração linear e os parâmetros de rotação (Inclinação, rotação e guinada) do veículo nos três eixos (x,y,z). Por consequência, a IMU tornou-se elemento essencial em sistemas de segurança veiculares. Em airbags, por exemplo, a unidade se faz extremamente necessária para identificação de uma colisão através dos seus acelerômetros.

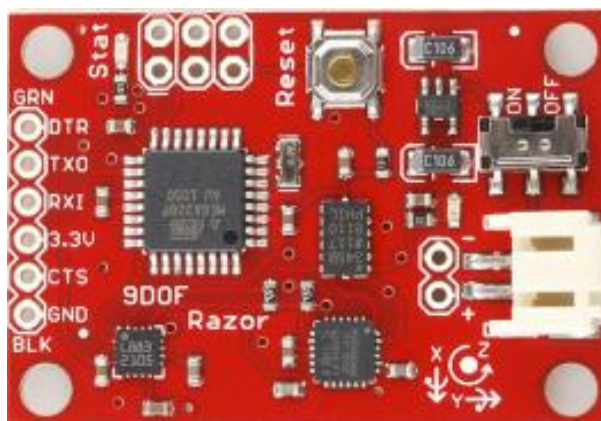
Figura 18: Parâmetros de rotação nos três eixos



Fonte: Intechopen (2013)

Em sistemas de navegação, a IMU é utilizada para complementar a eficácia do GPS. Os dados coletos por meio dos seus sensores inercias complementam as informações oriunda do sistema de posicionamento, provendo uma alta precisão de localização combinada ou atuando de forma independente quando por algum motivo a recepção do sinal GPS vier a falhar (Em túneis, estacionamentos, etc.).

Figura 19: IMU 9DOF Razor



Fonte: Puc-Rio (2017)

O IMU acima é um 9DOF Razor de nove graus de liberdade com três sensores acoplados: um giroscópio ITG triaxial, um acelerômetro ADXL345 triaxial e um sensor magnetômetro HMC5883L triaxial – sensor também utilizado em sistemas de navegação por ser capaz de medir força e direção de campos magnéticos –. Os dados inerciais e magnéticos são captados pelos sensores e, então, processados pelo microcontrolador ATmega328.

3.3.1.2 Câmeras

Com a evolução da tecnologia, diminuição no seu tamanho e redução do seu preço, as câmeras têm sido aplicadas em diversas áreas, sobretudo no tocante a processamento de imagens. Em VSs e VAs, por exemplo, o emprego de câmeras como elemento de captação de dados externos ao veículo em certos sistemas de assistência ao motorista é crucial.

Primeiro, o uso de câmeras em veículos ocorreu quando se viu a oportunidade em utiliza-las em balizas – No momento em que o motorista engata a marcha ré, automaticamente a imagem captada pela câmera instalada na parte

traseira do veículo é projetada em algum sistema de multimídia ou no retrovisor interno.

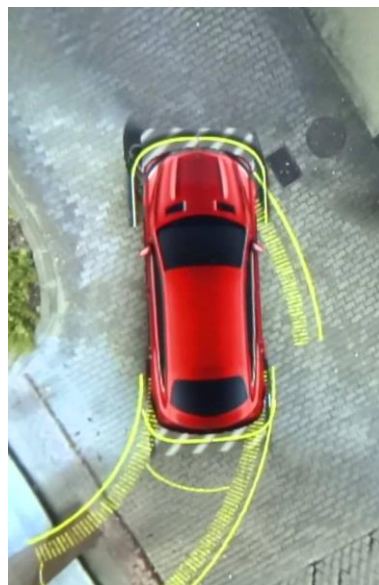
Figura 20: Câmera de ré



Fonte: Portallubes (2017)

Enquanto uns veículos possuem apenas uma câmera de ré, outros possuem um conjunto de câmeras que traz ao motorista uma visão bidimensional superior do ambiente a sua volta. Além disso, junto ao esterçar do volante e o devido processamento gráfico, traz também o trajeto que o veículo realizará.

Figura 21: Resultado do jogo de câmeras



Fonte: Editado de Youtube (2015)

Nos veículos mais completos tecnologicamente, câmeras estéreo são utilizadas para identificar objetos em três dimensões a frente do veículo e as suas

distâncias, identificação das faixas e/ou sinalização de trânsito, a depender da arquitetura sensorial empregada.

Figura 22: Câmera estéreo



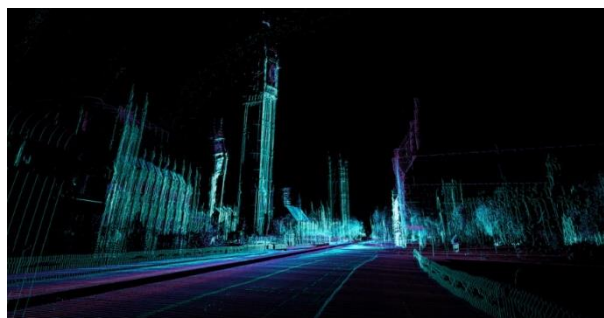
Fonte: Continental (2017)

As câmeras não descartam a necessidade de outros sensores, uma vez que estes trazem outras informações que combinadas mapeiam todo o ambiente em torno do veículo. No entanto, elas são capazes de identificar cores e formatos, o que permite um veículo interpretar sinais de semáforo, placas de trânsito e linhas de uma via, tal como um motorista faz.

3.3.1.3 LIDAR

Das tecnologias até agora apresentadas, LIDAR é a que mais se mostra tecnologicamente diversificada, contudo, o custo é de longe o mais caro. Podendo escanear o ambiente a sua volta com extrema qualidade, o LIDAR lança lasers a partir de uma base vertical giratória em todas as direções, obtendo como resultado um mapa 3D de alta resolução.

Figura 23: Imagem captada pelo LIDAR



Fonte: New York Times (2016)

Considerando que o laser após emitido pelo LIDAR incide no objeto e retorna ao sensor, a distância entre o objeto e o emissor pode ser calculada por uma simples equação:

$$Distância = \frac{(velocidade\ da\ luz * tempo\ de\ retorno\ do\ feixe\ ao\ sensor)}{2} \quad (1)$$

Onde: Velocidade da luz = 299 792 458 m/s

Figura 24: Captação do LIDAR



Fonte: News.Voyage.Auto (2017)

Usualmente, o Lidar se localiza na parte superior do veículo, o que permite a captação limpa e completa em 3D em torno do veículo. No entanto, o atual formato do sensor afeta diretamente na estética dos veículos e até pode inviabilizar a produção veicular em escala. A Tesla, uma das maiores fabricantes de VSSs, por exemplo, não utiliza esses sensores por esse motivo e pelo alto custo do produto.

Figura 25: Modelos de Lidar



Fonte: TecMundo, 2016)

O LIDAR veio ao mercado para alavancar a capacidade do VA de identificar a sua posição no mundo ao seu redor. Junto ao LIDAR, parte dos VAs em desenvolvimento utiliza mapas de alta definição previamente salvos. Esses mapas são comparados ao mapa obtido pelo LIDAR de forma a dar uma posição ainda mais precisa do veículo em relação aos elementos externos, a exemplo dos VAs desenvolvidos pela Waymo. Segundo especialistas da empresa, utilizar apenas sensores para a localização do veículo em tempo real exige um processamento muito maior.

Com o aprimoramento da tecnologia, novos formatos e desempenho dos componentes de VSs e VAs vem surgindo e com o LIDAR não é diferente. A Velodyne, empresa que criou a tecnologia LIDAR, anunciou uma nova versão da sua criação. O novo módulo Velarray é uma versão mais compacta, com estrutura fixa e com estética melhor trabalhada.

Figura 26: Novo LIDAR



Fonte: TecMundo (2016)

Por não ter uma base giratória como no modelo anterior, o novo módulo Velarray possui um range de captura de apenas 120° com um alcance de 35 metros, fazendo com o que veículo necessite de múltiplas unidades do exemplar, mas com a vantagem de não haver um impacto tão grande no design.

Segundo a empresa fabricante, o novo modelo custará muito menos do que o modelo anterior, de aproximadamente 80.000 dólares para a ordem de centenas. Além disso, a concorrência também contribuiu para a diminuição do preço do sensor, visto que outras empresas começaram a fabricar o LIDAR, como a própria Waymo e a Luminar.

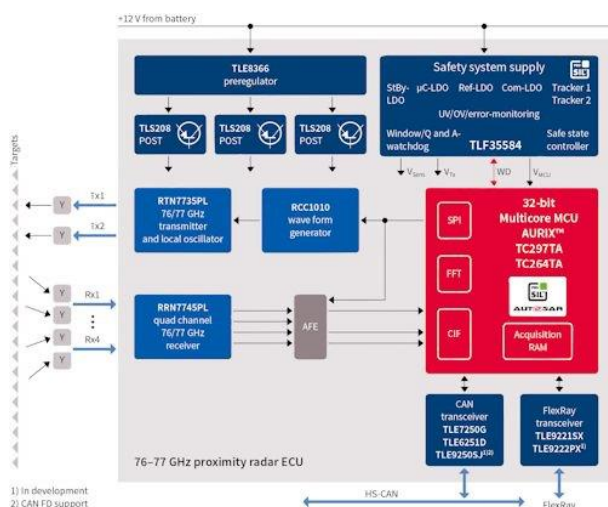
3.3.1.4 Radar

Na indústria automotiva, os radares se mostram extremamente úteis. Esses sensores usam ondas de rádio para determinar a velocidade, distância e ângulo em relação aos objetos. Comparando à câmera, o radar é computacionalmente mais leve e em relação ao LIDAR, utiliza muito menos dados, apesar da precisão angular inferior. Outra vantagem que o radar dispõe quando comparado ao LIDAR e câmera é a capacidade de trabalhar em qualquer circunstância climática.

Veículos VSs e VAs usam radares para sistema de alerta de colisão frontal, frenagem de emergência, assistência de congestionamento, assistência de troca de faixa e sistema de controle de cruzeiro adaptativo, a depender da arquitetura eletrônica do veículo. Nesse sentido, com a adoção crescente dos sistemas avançados de assistência ao condutor (*Advanced driver assistance systems - ADAS*) o custo desses sensores está caindo e estão se tornando um requisito para que os fabricantes de automóveis obtenham a classificação de segurança NCAP de cinco estrelas, a mais alta na Europa.

O sensor BGT24M de 24GHz da Infineon Technologies, por exemplo, pode ser usado com um microcontrolador externo em uma Unidade de Controle Eletrônico (*Electronic Control Unit – ECU*).

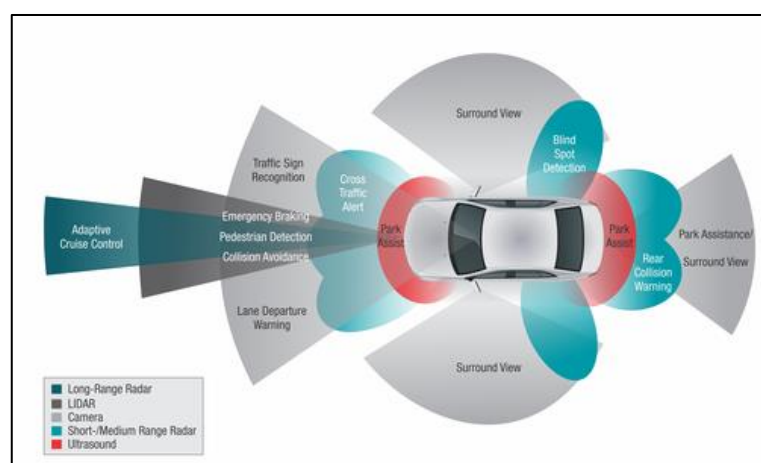
Figura 27: Sistema de radar automotivo da Infineon Technologies



Fonte: Digikey (2016)

Para atender as necessidades de VAs, os radares bem como todas as tecnologias presentes em veículos semiautônomos estão mudando. Sensores de 77GHz mostram ter maior alcance e resolução que os atuais de 24GHz. Um radar de 77GHz pode ser usado para fornecer detecção em tempo real de objetos a até 200m em um arco de 10° para detectar outros veículos, mas também a um angulo de 30° identifica objetos a 30m, por exemplo, conforme sugere a imagem abaixo. A maior resolução dada pela maior frequência permite o sistema identificar mais objetos em tempo real, provendo assim mais dados e tempo ao processamento do veículo (European Editors, 2016).

Figura 28: Distancias de atuação de radares, câmeras e LIDAR



Fonte: Designews (2017)

Os sensores de 77GHz usam transistores bipolares de silício-germânio com clock de 300GHz. Além disso, esses sensores são mais resistentes à vibração do veículo, de modo que não precisam tanta filtragem de sinais (European Editors, 2016).

3.3.1.5 Sensores Ultrassônicos

Com princípio parecido ao do radar, o sensor ultrassônico emite ondas sonoras –superiores às audíveis pela audição humana – que ao incidirem em uma superfície ecoam de volta ao sensor. Criado para curtas e médias distâncias e em baixas velocidades, esse sensor é comumente utilizado para identificar e avisar a existência de pessoas ou objetos ao redor do veículo.

Figura 29: Sensor ultrassônico



Fonte: Bosch (2015)

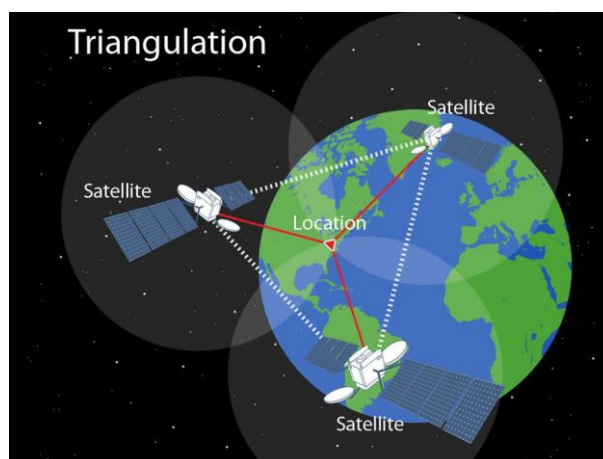
3.3.1.6 Sistema GPS

Sistema GPS é um sistema fundamental para um VA. Esse sistema consiste no senso de posicionamento do veículo em relação ao mundo. Saber onde o veículo está é essencial para poder se locomover de onde se está até onde se quer ir. Nesse sentido, dois questionamentos justificam a necessidade desse sistema: onde o veículo está agora e quais caminhos estão disponíveis para ele chegar até onde o motorista quer estar.

Para o VA, o sistema de navegação deve estar sempre ativo para que este possa verificar como o veículo deve reagir às adversidades do mundo ao seu redor, uma vez que, se a rota originalmente "otimizada" tiver desvios inesperados, o caminho deve ser recalculado em tempo real.

Os módulos receptores do GPS calculam a posição atual com base em uma complexa análise dos sinais recebidos de pelo menos quatro satélites de toda uma constelação artificial de satélites. Ao todo são 27 satélites orbitando ao redor do globo terrestre, sendo destes, 4 reservas caso satélites em operação vierem a falhar. Cada satélite sabe a sua posição em relação a terra e o horário com precisão de nanosegundos. Ao emitir ondas de rádio aos receptores GPS usado em veículos, por exemplo, as informações do horário de envio e posição dos satélites emissores são enviadas também. Com isso, os receptores GPS realizam a triangularização dos sinais e calculam a sua posição. Para tal, são necessários três satélites, o quarto é utilizado para identificar a altura do receptor em relação ao nível do mar.

Figura 30: Triangularização do sistema GPS



Fonte: National Geographic Society (2017)

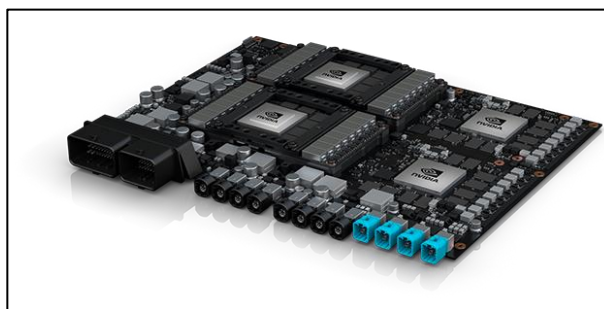
Certamente, os VAs irão exigir uma alta precisão por parte dos sistemas de navegação. Nesse sentido, diversas companhias estão em processo de desenvolvimento de soluções para o tema. Atualmente, os receptores GPS comuns possuem precisão na ordem de metros, o que não satisfaz as necessidades exigidas em VAs. Enquanto algumas empresas partem para a combinação das imagens provenientes de LIDAR, mapas pré-carregados e sistema GPS para se alcançar a precisão da ordem de centímetros, outras partem para o aprimoramento de métodos de correções em seus receptores GNSS – macrossistema composto por sistemas GPS, GLONASS, GALILEO e COMPASS.

3.3.2 Processadores

Para que o VA proceda com eficácia e eficiência a operação da direção, conforme dito tópico 1.2.2, uma alta capacidade de processamento se faz necessária frente a previsão dos 4 terabytes de dados gerados diariamente por um VA. Nesse sentido, duas companhias estão trabalhando para se tornar referência em processadores de alta capacidade para VAs.

Referência em computação de inteligência artificial, a NVIDIA deu início a pesquisa e desenvolvimento de soluções em processamento de dados para VAs. O Nvidia Drive PX é uma série de computadores com o objetivo de prover a veículos com sistemas de assistência ao motorista e VAs funcionalidade baseadas em *deep learning* – subcategoria do *Machine Learning* que trata do melhoramento computacional através de redes neurais –. Último computador lançado pela empresa até o momento, o Drive PX Pegasus promete suprir toda a demanda de processamento que um veículo com nível 5 de autonomia exige. O computador oferece mais de 320 trilhões de operações por segundo, mais de 10 vezes que o seu antecessor, NVIDIA DRIVE PX2. Até o momento, 225 parceiros estão desenvolvendo produtos utilizando a plataforma NVIDIA DRIVE PX, entre eles Tesla e Volvo.

Figura 31: Drive PX Pegasus

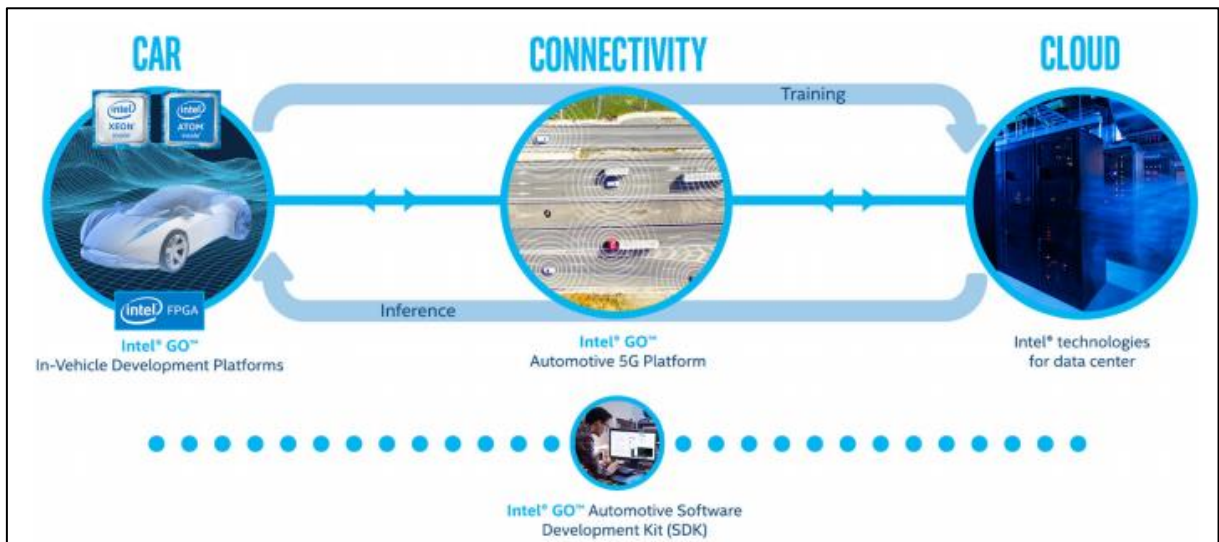


Fonte: Nvidia (2017)

Segundo o fundador e CEO da NVIDIA, Jensen Huang, Todo o processamento deve ser feito com vários níveis de redundância para garantir o mais alto nível de segurança. As demandas de computação de veículos sem condutor são facilmente de 50 a 100 vezes mais intensas do que os carros mais avançados de hoje. (Huang & Adabi, 2017).

A Intel, por sua vez, trabalha em uma solução mais abrangente para a autonomia veicular. Além de segmentar o processamento do veículo em diferentes estágios – percepção, fusão de dados e tomadas de decisão –, segmenta o processamento também para diferentes processadores, cada qual com a sua melhor aplicação – Intel E3900 e a nova geração dos processadores Intel Xeon, além de FPGAs Intel Aria 10 –. Ademais, a Intel visa oferecer o compartilhamento 5G de dados entre veículos e veículos e datacenters, a tecnologia necessária para estes datacenters e um kit de software gerencial para toda a tecnologia citada – *Automotive Software Development (SKD)*. Atualmente, a Intel fornece soluções para diversas companhias, dentre elas, Waymo, BMW, Nissan, Infiniti e Delphi.

Figura 32: Intel Go



Fonte: Intel (2017)

3.3.3 Atuadores

De maneira inversa ao sensor, o atuador é responsável por converter energia em uma grandeza física – movimento, calor, magnetismo, etc. Aplicado aos veículos com algum nível de autonomia, os atuadores consistem em servomecanismos e em motores elétricos, que são encarregados por atuar no sistema de direção, aceleração, frenagem e demais ações que normalmente deveriam ser, a priori, tomadas pelo motorista.

3.4 Conclusão

Uma vez que entendido quais são os requisitos e as restrições da tecnologia por trás da primazia da autonomia veicular, torna-se notório que a despeito da corrida das companhias na consolidação do VA como um veículo seguro e pronto para todas as adversidades presentes no trânsito, ao que tudo indica, a introdução deste na sociedade se dará de forma progressiva. A difusão dos veículos híbrido e elétrico, dos sistemas de assistência ao motorista e da compreensão da ascendente evolução da autonomia veicular, necessariamente, precederá a popularização do VA. Além do que, o VA ainda vindica mais esforços por partes dos desenvolvedores de soluções do seu segmento para que seja alcançado seu pleno funcionamento em todos os cenários. Ademais, questões legais precisarão ser discutidas a fim de cobrir todas incertezas que o VA trará aos códigos de trânsito dos países ao redor do globo.

4 APLICAÇÕES

4.1 Veículos de Passeio

Não seria exagero dizer que a chegada dos VAs será a maior mudança no transporte pessoal desde que o carro foi inventado em 1886. Isso porque, o VA não trará somente praticidade ao motorista que passará a ser passageiro, mas trará também diversos outros benefícios.

O passageiro que antes era responsável pela condução do veículo, com a vinda dos VAs poderá, por exemplo, usar seu tempo livre para ler livros, assistir um filme, trabalhar com o seu laptop ou estudar. Enquanto que hoje os veículos exigem toda a atenção dos motoristas ao longo de todo o trajeto, futuramente os antigos motoristas poderão dar atenção a outras atividades, impactando diretamente na produtividade onde antes não havia.

Certamente, o veículo guiado autonomamente consumirá menos combustível/energia elétrica, já que ele saberá a exata distância do objeto a frente e, dessa forma, será capaz de otimizar o comportamento dos freios e trem de força, de modo a realizar trocas de marcha tão suave e eficiente quanto possível.

Os VAs serão extremamente seguros com a consolidação da tecnologia, visto que a tecnologia autônoma respeitará as leis de trânsito, não apresentará comportamento emocional no volante e não ficará cansada. Em outras palavras, erros humanos na condução veicular serão erradicados, e com isso, a grande maioria dos acidentes de trânsito também. Além disso, os seguros de veículos serão muito mais baixo, já que colisões graves dificilmente acontecerão.

Num futuro com menos acidentes de trânsito, leis de trânsito respeitadas, capacidades de condução otimizadas, o tráfego fluirá mais suavemente, aliviando o congestionamento e tornando as viagens mais agradáveis e poupando tempo desperdiçado em estradas.

Quem hoje não pode dirigir um veículo, seja por limitação motora, deficiência física ou inexperiência, no futuro, não encontrará mais essa dificuldade quando em um VA. Esse tipo de veículo permitirá que mais pessoas possam ter um estilo de vida mais independente.

Pode-se dizer também que os VAs revolucionarão a dinâmica com que veículos são estacionados, posto que não haverá mais a necessidade de o carro estar estacionado perto do destino, pois ele poderá muito bem deixar o passageiro onde for conveniente e estacionar de forma independente onde houver vaga. Quando o passageiro decidir ir embora, basta chama-lo e o veículo o buscará.

Vale ressaltar uma nova possibilidade que os VAs também trarão: A possibilidade de compartilhamento de veículos. Se não há mais a necessidade de dirigir ou estacionar um veículo, por que não o chamar apenas quando necessário? Seja esse compartilhamento acontecendo de forma comercial ou familiar, o número de veículos nas ruas diminuirá, diminuindo o tamanho e quantidade de estacionamentos, acidentes e mortes no trânsito e o valor do seguro veicular.

4.2 Veículos Comerciais

Um benefício importante dos veículos autônomos é a sua possível utilização no setor comercial, para otimização dos serviços e atendimentos. Um bom exemplo disso são os testes realizados pela Ford com seus VAs para a entrega de pizza nos Estados Unidos. Em parceria com a Domino's, a Ford avaliou a eficácia de entregas realizadas por seus carros, no entanto, por enquanto há um engenheiro dentro do veículo para possíveis intervenções na direção e acompanhamento da sua performance.

"Nós não queremos fazer tudo de uma vez. Estamos tentando começar com uma pesquisa. Ainda estamos trabalhando na tecnologia, não está pronta para ser colocada nas ruas" (Marakby & Época Negócios, 2017).

Figura 33: Modelo Ford Fusion utilizado para entrega de pizzas



Fonte: Ford (2017)

O sistema disponibiliza um aplicativo, que é utilizado pelos clientes que digitam sua senha quando as pizzas chegam em suas residências, e assim podem retirar seu pedido do banco de trás, onde a pizza fica em um suporte aquecido. No entanto, a entrega autônoma ainda ocorre somente para alguns clientes, e nestes casos, com o sistema autônomo operante apenas na parte final do trajeto.

4.3 Veículos de Construção

Pesquisas em autonomia veicular tem mostrado que veículos de construção também podem ser autônomos. Além de promover um possível aumento no rendimento do trabalho, veículos autônomos de construção podem reduzir a quantidade de mortes por acidentes de trabalho no setor.

O primeiro exemplo é o caminhão autônomo de construção comprado pela Colorado DOT da fabricante *Royal Truck and Equipment*. A aquisição é inédita, visto que foi a companhia Colorado DOT adquiriu o primeiro VA de construção do mundo.

Figura 34: Primeiro veículo autônomo de construção comercializado



Fonte: TTNews (2017)

O caminhão é chamado de caminhão de colisão (*Crash Truck*), uma vez que é utilizado como proteção para outros veículos que pintam e reformam rodovias. Nesse sentido, a automação veicular tem um grande potencial para promover a segurança da vida, dado que os motoristas de caminhões de colisão trabalham com a atividade mais perigosa do segmento.

O segundo exemplo é o da primeira escavadeira autônoma já criada. Idealizada e criada por um ex-engenheiro do Google, a escavadeira é utilizada para escavar e mover terra sem o comando de um operador.

Figura 35: Escavadeira autônoma da Built Robotics



Fonte: CNBC (2017)

Para entrar em operação, a escavadeira necessita de alguns “*inputs*”. Através de um software também produzido pela *Built Robotics*, o responsável entra com as coordenadas e as dimensões do espaço a ser trabalhado para a escavadeira realizar a tarefa com precisão da ordem de milímetros.

4.4 Veículos Agrícolas

Com a intensão de melhorar a produtividade, VAs também estão sendo utilizados para fins agrícolas. Em todo o meio agrícola, inovações tecnológicas estão fazendo sucesso na atualidade, mas os usos de VAs vêm ganhando destaque.

Kits de adaptação de direção autônoma – permitem que tratores sigam rotas pré-programadas em grandes fazendas via GPS – começaram a ser lançados há cerca de 20 anos. Atualmente, a maioria dos tratores de alta tecnologia são fabricados com essa tecnologia, podendo o operador coordenar remotamente diversos tratores na mesma plantação com precisão da ordem de centímetros.

Figura 36: trator autônomo guiado por GPS



Fonte: CNBC (2017)

A agricultura pode ser uma indústria perigosa para trabalhar devido a riscos inerentes de trabalhar com grandes equipamentos e outros fatores ambientais. Esta tecnologia aumentará o nível de segurança na agricultura. Além disso, a promessa do aumento da produtividade e eficiência, a queda dos custos da tecnologia autônoma, a redução da disponibilidade e o aumento dos custos da mão de obra agrícola e a necessidade de produzir mais alimentos para uma população global crescente guina o VA agrícola para a popularização entre os fazendeiros.

4.5 Veículos Militares

A solidificação da tecnologia por trás da autonomia veicular tem mostrado ser de grande valia para fins militares. VAs podem reduzir quantidade de soldados em

zonas de risco e situações de perigo e, ao mesmo tempo, melhorar a eficiência a depender da operação, uma vez que podem realizar transporte de suprimentos, resgate de soldados feridos, reconhecimento de área de risco e de difícil acesso e, com a consolidação da tecnologia, atuar de forma ativa em combate.

Figura 37: Robô militar guiado por controle remoto e com arma M240



Fonte: TecnoMundo (2015)

No entanto, os VAs militares ainda estão em fase de desenvolvimento. Dos veículos não tripulados, dois tipos podem ser citados: Robôs controlados via controle remoto e veículos do tipo líder-seguidor (Leader-Follower). O segundo trata-se de veículos militares que seguem uns aos outros em um comboio, sendo o primeiro veículo – líder – com um condutor ou conduzido remotamente.

Figura 38: Veículos militares semiautônomos do tipo líder-seguidor



Fonte: Forbes (2017)

5 PESQUISAS

5.1 Veículo Autônomo da Waymo

Vendo a oportunidade no segmento automotivo, em 2008 o engenheiro Sebastian Thron do Google sugeriu sua ambiciosa ideia de VAs aos executivos da companhia. Com um ano de desenvolvimento do sistema, em 2009, o primeiro VA da empresa – montado em um Toyota Prius – começou a ser testado.

Figura 39: VA Toyota Prius do Google



Fonte: Fonte: Google (2009)

Em 2012, o Google passou a utilizar o Lexus RX450h como base para o seu VA. Os testes com esses dois modelos foram realizados em rodovias da Califórnia/EUA por cerca de 400.000km sem incidência de acidentes. Então, decidiu-se mudar o foco dos testes para vias urbanas.

Figura 40: Lexus RX450h



Fonte: Google (2012)

Em 2014, após 5 anos de experiência com veículos autônomos, o Google apresentou o seu primeiro veículo por ela produzido. A empresa partiu de preceitos básicos para a criação de veículo que “nasceu” para ser autônomo, já que o mesmo não possui tanto volante quanto pedais de acelerador e freio. No final do mesmo ano, a empresa apresentou o modelo compilado da versão após muitos testes e interações de trânsito. Abaixo seguem os modelos idealizado, projetado e melhorado:

Figura 41: Versões idealizada, desenvolvida e melhorada do VA do Google

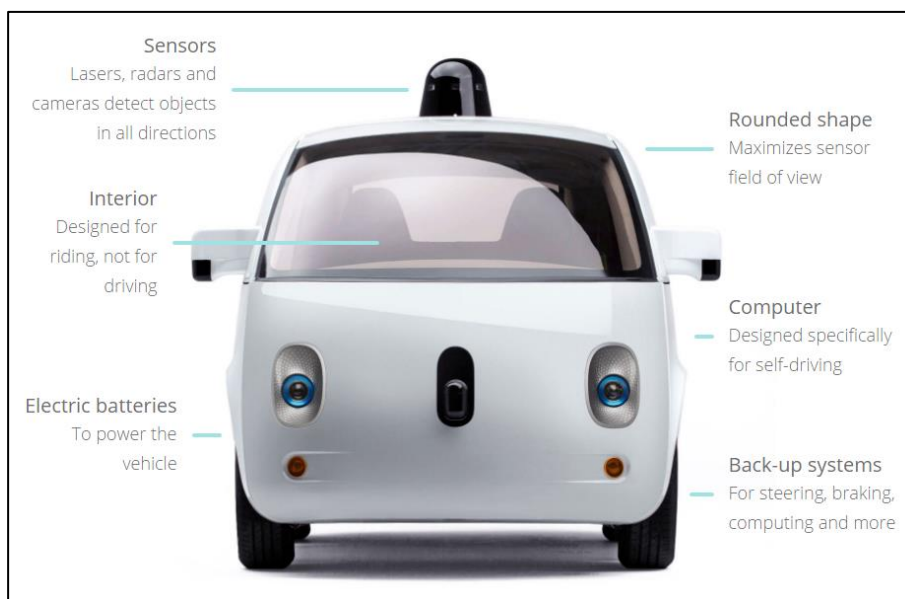


Fonte: Google (2016)

Com a sua versão completamente própria, a empresa destaca a praticidade e a segurança que o seu VA proporciona aos seus passageiros. Quando o passageiro entra no veículo, para que o veículo entre em movimento em direção ao destino desejado, basta que um botão seja pressionado e que alguém diga para onde quer ir. Caso o passageiro queira ou precise parar o veículo, um outro botão está disposto no painel entre os dois assentos no interior do veículo. Além disso, o veículo possui outros elementos importantes de segurança – a limitação da velocidade máxima em 40km/h, a frente construída de espuma, o para-brisa removível e os sistemas redundantes de aceleração, freio e processamento de dados.

Composto por uma eletrônica extremamente eficiente, o veículo também possui uma aparência amigável. Os sensores do modelo podem identificar e categorizar objetos a mais de dois campos de futebol de distância. Lembrando que todo o veículo é alimentado apenas por baterias elétricas.

Figura 42: Componentes principais do protótipo



Fonte: Google (2016)

O VA do Google através dos sensores identifica o que são pedestres, ciclistas, veículos, sinalizações e entre outros objetos. Cada tipo de objeto é categorizado para que o veículo, desse modo, seja capaz de interpretar informações mesmo em uma cidade com uma alta complexidade de tráfego.

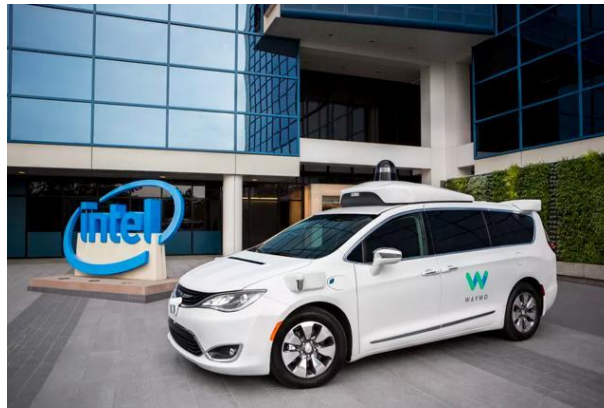
Figura 43: Processamento do veículo do Google



Fonte: Google (2016)

Em maio de 2016, o Google – já então Alphabet – firmou parceria com a Fiat Chrysler para a sua nova geração de VAs. Atualmente, suas tecnologias de autonomia veicular são instaladas na modelo minivan híbrida Pacífica.

Figura 44: Atual VA da Waymo



Fonte: Google (2017)

Em dezembro do mesmo ano, a Alphabet criou a empresa Waymo para dedicação exclusiva em desenvolvimento de VAs. Até o momento, mais de 3 milhões de quilômetros já foram percorridos pelos veículos que compõem ou compuseram o projeto da companhia, sendo assim o projeto que mais se destaca no que diz respeito a testes em rodovias e vias urbanas.

5.2 Outros

A Ford planeja começar a produção em escala do seu VA em 2021, iniciando em 2018 o teste destes veículos em ao menos uma cidade. Possivelmente os testes serão realizados com aplicativos de parceiros para transporte de pessoas, como a Lyft. Além do transporte de pessoas, a Ford pretende seguir com transporte de produtos, ao exemplo do tópico 4.2.

A GM anunciou que também pretende lançar seu serviço de compartilhamento de veículos em várias cidades dos EUA em 2019, utilizando versões completamente autônomas do seu modelo Chevrolet Bolt, movido a energia elétrica.

A Mercedes-Benz – maior fabricante de veículos de luxo no mundo – e a fornecedora de autopeças Robert Bosch – líder global do seu segmento – formaram neste ano uma aliança para o desenvolvimento de VAs, com foco também em compartilhamento de veículos. Através desta parceria, a Robert Bosch irá fornecer tanto o software quanto os algoritmos necessários para a completa autonomia veicular dos veículos produzidos pela Mercedes-Benz, bem como suporte em engenharia automotiva com a sua vasta experiência em autopeças.

“O objetivo principal do projeto é alcançar o desenvolvimento para a produção de um sistema de navegação que permita que carros dirijam de forma completamente autônoma na cidade” (Daimler & Reuters, 2017).

A Nissan pretende lançar seus VAs em parceria com a DeNa – empresa de tecnologia – até 2020, em função dos Jogos Olímpicos de Tóquio. A ideia da companhia, assim como a maioria das companhias engajadas no desenvolvimento de VAs utilitários, é entrar na esfera compartilhamento de veículos com a sua promessa tecnológica. Em março do próximo ano, a Nissan e a DeNa pretendem realizar um teste aberto ao público com seus VAs na cidade de Yokohama/JP por quinze dias. Os usuários poderão chamar o veículo por aplicativo e não precisarão pagar pelo serviço.

Também em 2020, a Toyota estipula estar testando seu VA elétrico, o Concept-i. O veículo terá autonomia de 300kms por carga e terá a capacidade de interagir com passageiros utilizando Inteligência Artificial (IA).

“Ao usar a tecnologia IA, queremos expandir e aprimorar a experiência de condução, tornando os carros um objeto de afeição novamente” (Okada & Tajitsu, 2017).

Segundo a companhia, através da IA o VA conversará com os motoristas e passageiros, com o intuito de desenvolver o conhecimento sobre as suas preferências, emoções e hábitos. Assim, poderá estimar nível de atenção dos motoristas e emoções por análise facial, tom de voz e ações.

Figura 45: Protótipo do VA da Toyota



Fonte: Exame (2017)

A BMW sempre esteve na vanguarda da condução e da tecnologia automotiva. Esse compromisso de oferecer o melhor e os veículos mais superiores na estrada, se estendeu ao mundo da condução autônoma; A empresa anunciou recentemente sua intenção de oferecer um veículo totalmente autônomo já em 2021 e a ambição de liderar esse novo subsegmento.

Figura 46: Protótipo do VA iNext da BMW



Fonte: CNN (2016)

O porta-voz da companhia disse que o novo modelo iNext será a base para futuras frotas de veículos totalmente autônomos tanto em rodovias quanto em ambientes urbanos. Ele disse também que a empresa manterá o volante e pedais mesmo em seus VAs, caso o motorista queira estar no controle.

"We have a clear objective: to be the technology and innovation leader for individual mobility in the digital age. To achieve this, we are establishing selected partnerships. Together with Intel and Mobileye, we aim

to develop the technology for autonomous driving within five years. All three partners will pool their know-how in the fields of automotive engineering, technology, computer vision and machine learning.” (Krueger & Nica, 2016).

“Temos um objetivo claro: ser o líder de tecnologia e inovação para a mobilidade individual na era digital. Para conseguir isso, estamos estabelecendo parcerias selecionadas. Juntamente com a Intel e a Mobileye, buscamos desenvolver a tecnologia para a condução autônoma dentro de cinco anos. Todos os três parceiros reunirão seu know-how nos campos da engenharia automotiva, tecnologia, visão por computador e Machine Learning”. [Tradução nossa]

Segundo Dr. Klaus Bue ttner – responsável pelo setor de autonomia veicular da BMW –, não há muita vantagem em se entregar de forma antecipada um VS de nível 3 de autonomia, assim como a Audi – concorrente direta – fez, que não que ultrapasse dos 60km/h com o sistema de autonomia ativo. Em um transito onde a velocidade varia entre maior e menor que este limite, o motorista tem de habilitar e desabilitar constantemente o sistema, tornando a direção desgastante. Segundo Bue ttner, a empresa pretende lançar em 2021 seu VS nível 3, bem como modelos nível 4 e 5 no mesmo ano.

Diversas outras companhias estão trabalhando no desenvolvimento de VAs ou em fornecimento de peças e sistemas aprimorados. Ao exemplo da Tesla, que ano passado prometeu seus primeiros VAs para 2019 sem divulgar mais informações. Além desta, sabe-se que a Apple também está na corrida para o desenvolvimento do seu VA, no entanto, nenhuma informação mais concreta foi divulgada sobre o seu modelo.

6 VEÍCULOS AUTÔNOMOS COMERCIAIS

Conforme apontado no tópico anterior, além de grandes companhias desenvolvedoras de tecnologias, as principais fabricantes de veículos viram que o futuro do mercado em que atuam sofrerá na próxima década o início de uma grande transformação.

Ao que tudo indica, o compartilhamento de VAs irá se sobrepor aos veículos particulares e, nesse sentido, as montadoras viram a necessidade de se adaptarem a essa futura realidade investindo recursos em P&D, bem como de formar parcerias com outras companhias com o intuito de entregar seus modelos prontos ao mercado o quanto antes.

A Waymo, por exemplo, está em fase experimental do seu último modelo híbrido Pacifica em Phoenix/EUA em parceria com a Lyft. Nestes testes, o usuário pode experimentar como é se locomover em veículo de compartilhamento completamente autônomo, sem motorista para intervenções de emergência. Isso porque, em outubro desse ano, a Waymo anunciou a remoção de qualquer elemento de intervenção do motorista em seus veículos, pois segundo John Krafcik – líder da Waymo –, com a confiança adquirida pelo motorista em relação à direção autônoma, o motorista se tornará preguiçoso e despreparado para assumir a direção em caso de emergência. Ademais, a tecnologia em seus VAs já é suficientemente confiável para a remoção destes elementos, tanto que anunciou o lançamento do seu serviço de compartilhamento de veículos para os próximos meses no Arizona/EUA – onde é permitido a locomoção veicular sem motorista.

Figura 47: VA da Waymo em fase experimental



Fonte: Exame (2017)

A Uber, por sua vez, em face do avanço da sua principal futura concorrente –Waymo –, anunciou uma parceria com a Volvo para aquisição de até 24 mil veículos Volvo XC90 de 2019 a 2021, se estes estiverem prontos.

Ao invés de se unir a vários fabricantes, a Uber fez a maior parte de seu trabalho P&D de forma independente, ao contrário da Lyft – atual maior concorrente da Uber em transporte privado urbano nos EUA –. Em particular, a Uber investiu no seu Grupo de Tecnologias Avançadas, sede de centenas de engenheiros em Pittsburgh, onde está fazendo grande parte da pesquisa de veículos autônomos (Isaac, 2017).

Figura 48: VA da Uber em parceria com a Volvo



Fonte: The Guardian (2017)

“Isso [advento dos VAs] não vai chacoalhar só a indústria automobilística. Trará disrupção em vários níveis. As estradas poderiam ser mais estreitas e os estacionamentos poderiam ser menores — porque você não precisa mais estacionar os carros. O setor de seguros é um que pode sofrer, por exemplo, pois haverá menos acidentes. O mercado imobiliário também pode ser impactado, já que teremos mais espaço. Além disso, a forma como a polícia trabalha pode mudar — o sistema de multas não vai mais gerar tanta receita. Já do ponto de vista logístico, mover algo de um lugar para outro poderá mudar também as coisas, já que veículos autônomos dirigem 24 horas por dia, não precisam “descansar”. E a lista segue...” (Choi & Caldas, 2017).

Em 2016, a Mercedes-Benz revelou seu inovador ônibus autônomo. Com tecnologia que permite circular autonomamente a até 70 km/h de velocidade, o Future Bus com o CityPilot é capaz de reconhecer semáforos, se comunicar e negociar com

eles alteração seguras de tráfego. O ônibus também pode reconhecer obstáculos, especialmente pedestres na estrada, e frear de forma autônoma. Ele se aproxima das paradas de ônibus autonomamente, abre e fecha suas portas e é capaz de dirigir através de túneis.

Figura 49: Future Bus com CityPilot da Mercedes-Benz



Fonte: Mercedes-Benz (2016)

Equipado com uma dúzia de câmeras que escaneiam a estrada e os arredores, o ônibus autônomo da Mercedes-Benz possui também radares de curto e longo alcance e um sistema de navegação GPS. Graças à combinação de dados, todos os dados recebidos formam uma imagem extremamente precisa e permitem que o ônibus seja posicionado no mapa com precisão na ordem de centímetros. O seu funcionamento já foi comprovado na prática, conforme demonstrado em uma rota exigente que cobre quase 20km em Amsterdam/NL. A rota é composta por uma série de curvas apertadas, túneis, inúmeras paradas de ônibus e envolvendo altas velocidades para um ônibus da cidade.

Para que o CityPilot pudesse operar em todos os cenários, seria necessário que todas as vias fossem adaptadas às condições perfeitas para o modo de condução autônoma. Nesse sentido, a Mercedes afirma que o veículo também pode ser conduzido por motorista em vias urbanas e, quando alcançar um trecho em condições perfeitas, o sistema de condução autônomo pode ser ativado (Daimler, 2016).

Em outubro de 2016, a Uber realizou a primeira entrega comercial com um caminhão autônomo. Após percorrer cerca de 200km em estradas norte americanas entre Fort Collins até Colorado Springs, o veículo, que surgiu de uma parceria entre a Uber e a Otto, entregou seu carregamento com 50 mil latas de cerveja.

Figura 50: Caminhão autônomo da Uber



Fonte: Mercedes-Benz (2016)

Equipado com US \$ 30 mil de hardwares e softwares da *startup* Otto, a tecnologia instalada no caminhão funciona apenas em estradas, onde não precisa lidar com variáveis complicadas de grandes centros urbanos. No entanto, ele controla a velocidade de cruzeiro, mantém uma distância segura o veículo a frente e troca de faixas quando necessário.

"The technology is ready to start doing these commercial pilots" (Ron & Davies, 2016).

"A tecnologia está pronta para começar a fazer esses pilotos comerciais"
[Tradução nossa]

O sistema de autonomia veicular da Otto funciona em qualquer caminhão com transmissão automática, sendo ele composto por três LIDARs instalados da cabine ao reboque, um radar no para-choques e uma câmera de alta precisão acima do para-brisa.

Segundo a empresa, por se locomover de forma completamente autônoma em estradas, isentando o motorista de prestar a atenção enquanto nestas, os caminhões equipados com esse sistema possuem um nível 4 de autonomia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ainda não ser possível apontar com exatidão como o VA impactará a sociedade, grande é a expectativa para o dia em que será possível estar dentro de um veículo deste tipo fora dos regimes experimentais. No entanto, já se sabe que muitos são os desafios, sejam eles técnicos, legais e até mesmo cultural. Contudo, percebe-se que quanto mais se discute e se trabalha sobre o assunto, menores se tornam estes desafios.

A evolução do veículo convencional para o veículo semiautônomo permitiu que companhias almejassem a produção comercial de veículos de condução completamente autônoma no futuro, através de grandes investimentos de recursos, contínuo melhoramento das suas tecnologias e busca por formação de parcerias. Nesse sentido, após o Google – atualmente Waymo – ter dado o início ao seu então ambicioso projeto de VA, outras grandes companhias viram a mudança que esse veículo tende a causar no mercado e também iniciaram suas pesquisas, no intuito de disputarem pelo primeiro lugar na comercialização de VAs e ditarem, então, as regras destes no mercado.

Desenvolver um veículo que computacionalmente realiza todas as tarefas de direção de forma otimizada quando comparado ao motorista, trará inúmeros benefícios à realidade em diversos sentidos. Entretanto, depender da eficácia de sistemas que interpretam a realidade de um ambiente tão adverso como as vias em grandes centros urbanos, pode levar algum tempo até que as tecnologias desenvolvidas se tornem consolidadas. Além disso, um veículo que leia e interprete todas as variáveis presentes no trânsito, pode vir a ser algo não passível de utilização se não houver incentivo por parte dos órgãos competentes na padronização, manutenção e adequação de vias e sinalizações, bem como atualização dos códigos de trânsito.

REFERÊNCIAS

AMORIM, D., & NEDER, V. Fatia da indústria automobilística no PIB cresce 45,6% em 11 anos. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 05 mai. 2013. Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,fatia-da-industria-automobilistica-no-pib-cresce-45-6-em-11-anos,152758e>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

CHOI, S. *apud* CALDAS, E. Como responsável por inteligência artificial no Uber vê o futuro do carro. **Época Negócios**, 09 nov. 2017. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/colunas/Tecneira/noticia/2017/11/como-o-responsavel-por-inteligencia-artificial-no-uber-ve-o-futuro-do-carro.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

CHRISTIAN, A. Active Lane Change Assist will be offered on 2017 Mercedes-Benz E-Class. **4wheelsnews**, 14 dez. 2015. Disponível em: <<https://www.4wheelsnews.com/auto/2017-mercedes-benz-e-class-active-lane-change-assist-tech-35321.html>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

CONDLIFFE, J. **Por que não teremos carros autônomos tão cedo**. Gizmodo Brasil/UOL, 20 mai. 2015. Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/por-que-nao-teremos-carros-autonomos- tao-cedo/>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

CROSBIE, J. What Does a Supercomputer Do? The short answer is a whole lot of math. **Inverse Innovation**, 24 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.inverse.com/article/17275-china-record-breaking-supercomputers-titan-tianhe-trinity>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

DAIMLER. **The Mercedes-Benz Future Bus**: the future of mobility. Daimler, 2016. Disponível em: <<https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/future-bus.html>>. Acesso em: 19 out. 2017.

DAIMLER *apud* REUTERS. Mercedes se une a Bosch para desenvolver carros autônomos. **Exame** 4 abr. 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/mercedes-se-une-a-bosch-para-desenvolver-carros-autonomos/>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

ERNST, K. Cars of Futures Past – GM Firebird Concepts. **Hemmings**, 3 out. 2013. Disponível em: <<https://www.hemmings.com/blog/index.php/2013/10/03/cars-of-futures-past-gm-firebird-concepts/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

EUROPEAN EDITORS. Radar Sensing for Driverless Vehicles. **Digikey**, 02 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2016/nov/radar-sensing-for-driverless-vehicles>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

HAWKINS, A. The new Audi A8 luxury sedan is a high-tech beast that can drive itself. **The Verge**, 11 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.theverge.com/2017/7/11/15952510/audi-a8-level-3-autonomous-driving-self-parking>>. Acesso em: 01 set. 2017.

HICKEY, H. **Move over, Herbie: Stanford team enters autonomous car in driverless race.** Stanford University, 18 mai. 2005. Disponível em: <<https://news.stanford.edu/news/2005/may18/darpassr-051805.html>>. Acesso em: 11 jun. 2017.

HUANG, J., *apud* ADABI, F. **NVIDIA Announces World's First AI Computer to Make Robotaxis a Reality.** NVIDIA, 10 out. 2017. Disponível em: <<http://www.marketwired.com/press-release/nvidia-announces-worlds-first-ai-computer-to-make-robotaxis-a-reality-nasdaq-nvda-2236493.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

ISAAC, M. Uber Strikes Deal With Volvo to Bring Self-Driving Cars to Its Networking. **The New York Times**, novembro de 2017. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2017/11/20/technology/uber-deal-volvo-self-driving-cars-.html>> Acesso em: 25 nov. 2017.

KPMG's Global Automotive Executive Survey 2017. KPMG INTERNACIONAL, jan. 2017. Disponível em: <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/01/global-automotive-executive-survey-2017.pdf>> Acesso em: 14 nov. 2017

KRUEGER, H., *apud* NICA, G. **BMW CEO Wants Autonomous Driving Cars within Five Years.** BMW Blog. 02 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.bmwblog.com/2016/08/02/bmw-ceo-wants-autonomous-driving-cars-within-five-years/>> Acesso em: 30 abr. 2017

LEVI, T. D. *apud* GARDNER, G. **Why most self-driving cars will be electric.** USAToday, Detroit /EUA, 19 set. 2016. Disponível em: <<https://www.usatoday.com/story/money/cars/2016/09/19/why-most-self-driving-cars-electric/90614734/>> Acesso em: 01 nov. 2017

MAIA, W. **Carros autônomos pedem update na legislação.** IASP – Instituto dos Advogados de São Paulo, 09 mar. 2015. Disponível em: <<http://iasp.org.br/carros-autonomos-pedem-update-na-legislacao/>> Acesso em: 07 jun. 2017

MARAKBY, S. *apud* ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE. **Ford e Domino's vão entregar pizza com carro autônomo:** Empresas querem descobrir como clientes encaram a nova tecnologia. Época Negócios, 24 set. 2017. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2017/09/ford-e-dominos-va-entregar-pizza-com-carro-autonomo.html>> Acesso em: 14 nov. 2017

MAURER, M., GERDES, J. C., LENZ, B., & WINNER, H. **Autonomous Driving** Technical, Legal and Social Aspects. Ladenburg: Springer Open, 2015.

MEKEL, T. **The difference of self-driving and driverless car explained.** LinkedIn, 11 jul. 2015. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/difference-self-driving-driverless-car-explained-tijmen-mekel/>> Acesso em: 23 abr. 2017

MICHAELIS. **Autonomia**. Editora Melhoramentos Ltda/UOL: 2017. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=autonomia>> Acesso em: 05 set. 2017

OKADE, M.; *apud* TAJITSU, N. TOYOTA TESTARÁ CARRO FALANTE E AUTÔNOMO ATÉ 2020: Carro, cujo modelo conceito foi revelado este ano na Consumer Electronics Show em Las Vegas, será capaz de conversar com os motoristas. **Exame**, 16 out. 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/toyota-testara-carro-falante-e-autonomo-ate-2020/>> Acesso em: 12 nov. 2017

PAGLIARINI, G. COMO FUNCIONA O CONTROLE ELETRÔNICO DE ESTABILIDADE: Considerada a maior inovação em segurança automotiva depois do cinto de segurança, ESC pode se tornar obrigatório no Brasil. Revista **AutoEsporte**, 27 abr. 2017. Disponível em: <<http://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2015/10/como-funciona-o-controle-eletronico-de-estabilidade.html>>. Acesso em: 8 jun. 2017

RAIBERT, M., *apud* ACKERMAN, E. **What Else Can We Do With Autonomous Military Vehicles?** IEEE SPECTRUM, 26 jun. de 2013. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/what-else-can-we-do-with-autonomous-military-vehicles>>. Acesso em: 30 out. 2017

REBER, P. What Is the Memory Capacity of the Human Brain? In: **Scientific American**, p. 01-10, mai. 2010.

RON, L. *apud* DAVIES, A. Uber's Self-Driving Truck Makes Its First Delivery: 50,000 Beers. **Wired**, 25 out. 2016. Disponível em: <https://www.wired.com/2016/10/ubers-self-driving-truck-makes-first-delivery-50000-beers/?mbid=nl_102516_p3&CNDID=25322701>. Acesso em: 14 out. 2017.

SHERMAN, D. **Semi-Autonomous Cars Compared! Tesla Model S vs. BMW 750i, Infiniti Q50S, and Mercedes-Benz S65 AMG**. Caranddriver, fev. 2016. Disponível em: <<https://www.caranddriver.com/features/semi-autonomous-cars-compared-tesla-vs-bmw-mercedes-and-infiniti-feature>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

STAYTON, E. L. **Driverless Dreams: Technological Narratives and the Shape of the Automated Car**. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY: 01 jul. 2015. Disponível em: <http://www.estayton.com/Stayton_DriverlessDreams_May5_2015.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2017.

UFMG expõe carro autônomo em bienal. Assessoria de Imprensa da UFMG, 10 dez. 2009. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/online/arquivos/014093.shtml>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

VANDERBILT, T. Autonomous Cars Through the Ages. **Wired**, 02 mai. 2012. Disponível em: <<https://www.wired.com/2012/02/autonomous-vehicle-history/>> Acesso em: 8 ago. 2017.

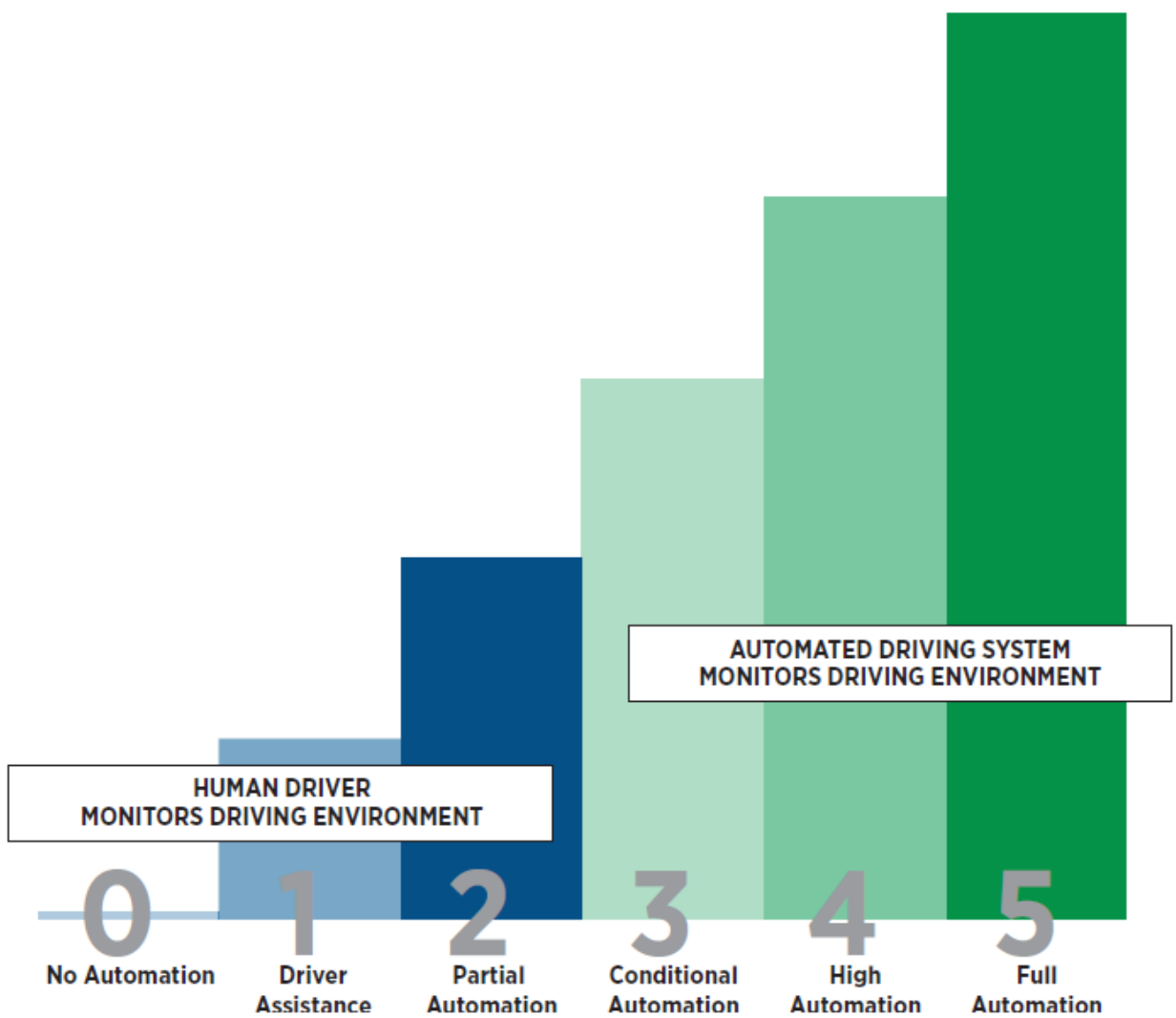
Electronic Stability Control (ESC). Volkswagen, 2017. Disponível em: <http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/elektronisches_stabilisierungsprogramm.html> Acesso em: 12 jun. 2017.

WETMORE, J. M. Driving the Dream – The History and Motivations Behind 60 Years of Automated Highway Systems in America. **Automotive History Review**, p. 04-19, 2003.

WINTER, K. **For Self-Driving Cars, There's Big Meaning Behind One Big Number: 4 Terabytes**: If 3,000 People Talked All at Once, Could You Understand What Each One Was Saying? Intel Corporation, 14 abr. 2017. Disponível em: <<https://newsroom.intel.com/editorials/self-driving-cars-big-meaning-behind-one-number-4-terabytes/>> Acesso em: 8 ago. 2017.

WOLF, D. **Projeto CaRINA 2**. Laboratório de Robótica Móvel ICMC/USP. São Carlos, 21 nov. 2015. Disponível em: <<http://lrm.icmc.usp.br/web/index.php?n=Port.ProjCarina2Info>> Acesso em: 14 nov. 2017.

ANEXO A – Níveis de automação veicular segundo a SAE Internation



SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes