



IMPLICAÇÕES DO VEÍCULO AUTÓNOMO NO FUTURO DAS CIDADES

PEDRO ALEXANDRE MOURA CIRILO ROCHA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM PLANEAMENTO E PROJECTO URBANO

Orientador: Professor Doutor Álvaro Fernando de Oliveira Costa

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM PLANEAMENTO E PROJECTO URBANO 2022/2023 - FEUP

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ mppu@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Planeamento e Projecto Urbano - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Faculdade de Arquitetura Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrônica fornecida pelo respetivo Autor.

Este documento foi escrito no idioma Português do Brasil.

À minha família

Não é na ciência que está a felicidade, mas na aquisição da ciência

Edgar Allan Poe

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, amigos e minha esposa por sempre estarem presentes não importando a distância.

Agradeço também a todo corpo docente do Mestrado em Planejamento e Projeto Urbano da FEUP que foram essenciais em minha formação e a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica.

RESUMO

O objetivo desta dissertação de mestrado é analisar os impactos resultantes da implementação de veículos autônomos nas cidades. Para isso foram analisados os diferentes tipos de operações de veículos autônomos, para compreender as possíveis estratégias de controle e regulação, e para avaliar os potenciais impactos urbanos causados pela adoção de veículos autônomos.

Uma das principais conclusões derivadas desta dissertação é que o impacto dos veículos autônomos no ambiente urbano é dependente da implementação de políticas públicas adequadas. A operação dos veículos autônomos pode resultar em uma redução significativa do congestionamento nas áreas urbanas, assim como na diminuição da demanda por vagas de estacionamento. Essas medidas são essenciais para otimizar o funcionamento dos veículos autônomos e maximizar seus benefícios para a mobilidade urbana.

Assim, os veículos autônomos e suas implicações podem abrir diversas oportunidades para a requalificação urbana de espaços atualmente degradados. No entanto, é fundamental que sejam adotadas políticas eficazes de controle e regulação dos veículos autônomos, a fim de evitar um aumento excessivo no número de viagens, o que poderia agravar o problema do congestionamento nas vias urbanas. Ao equilibrar o desenvolvimento dos veículos autônomos com a implementação de medidas de gestão adequadas, é possível explorar todo o potencial transformador dessas tecnologias para promover uma melhoria na qualidade do ambiente urbano.

Essa tecnologia promissora tem o potencial de acentuar a dependência do uso de veículos particulares. No entanto, se for abordada estrategicamente, os veículos autônomos têm a capacidade de criar um sistema de mobilidade urbana mais eficiente e potencialmente de custo reduzido. Isso poderia contribuir para o equilíbrio do espaço urbano, liberando áreas para a circulação de pedestres e ciclistas. Com uma abordagem cuidadosa e políticas adequadas, podemos aproveitar os benefícios dos veículos autônomos para promover uma mobilidade mais sustentável e uma maior qualidade de vida nas cidades.

PALAVRAS-CHAVE: Veículos autônomos; Mobilidade urbana; Políticas urbanas; Uso do espaço urbano; Impactos urbanos.

ABSTRACT

The objective of this master's thesis is to analyze the impacts resulting from the implementation of autonomous vehicles in cities. For this, the different types of autonomous vehicle operations were analyzed, to understand the possible control and regulation strategies, and to evaluate the potential urban impacts caused by the adoption of autonomous vehicles.

One of the main conclusions derived from this paper is that the impact of autonomous vehicles on the urban environment is entirely dependent on the implementation of adequate public policies. The operation of autonomous vehicles can result in a significant reduction in congestion in urban areas, as well as a decrease in the demand for parking spaces. These measures are essential to optimize the functioning of autonomous vehicles and maximize their benefits for urban mobility.

Thus, autonomous vehicles and their implications can open up several opportunities for the urban regeneration of currently degraded spaces. However, it is essential that effective policies be adopted for the control and regulation of autonomous vehicles, in order to avoid an excessive increase in the number of trips, which could aggravate the problem of congestion on urban roads. By balancing the development of autonomous vehicles with the implementation of appropriate management measures, it is possible to explore the full transformative potential of these technologies to promote an improvement in the quality of the urban environment.

This promising technology has the potential to increase dependency on the use of private vehicles. However, if approached strategically, autonomous vehicles have the ability to create a more efficient and potentially cost-effective urban mobility system. This could contribute to the balance of urban space, freeing up areas for pedestrians and cyclists to circulate. With a careful approach and the right policies, we can harness the benefits of autonomous vehicles to promote more sustainable mobility and a higher quality of life in cities.

KEYWORDS: Autonomous vehicles; Urban mobility; Urban policies; Use of urban space; Urban impacts.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA.....	3
1.4. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	3
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. O que são veículos autônomos?	5
2.1. DEFINIÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS.....	5
2.2. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA	6
2.3. Classificação dos veículos autônomos	7
3. Impactos dos veículos autônomos nas cidades	9
3.1. IMPACTOS NO TRÂNSITO E NA MOBILIDADE URBANA	9
3.1.1. TRANSPORTE PÚBLICO.....	10
3.1.2. CUSTOS	12
3.1.3. ESTACIONAMENTO	14
3.1.4. CONGESTIONAMENTO	15
3.1.5. SEGURANÇA E ACIDENTES	16
3.2. IMPACTOS NA INFRAESTRUTURA VIÁRIA E URBANA	18
3.2.1. RELAÇÃO DA MOBILIDADE COM O DESENVOLVIMENTO URBANO	18
3.2.2. DESENVOLVIMENTO URBANO E USO DA TERRA	20
3.3. IMPACTOS SOCIAIS	21
3.3.1. INCLUSÃO SOCIAL	21
3.3.2. SAÚDE PÚBLICA	22
3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS	25

4. Oportunidades e desafios dos veículos autônomos para as cidades.....	27
4.1. OPORTUNIDADES PARA MELHORAR A MOBILIDADE URBANA	27
4.2. OPORTUNIDADES PARA MELHORAR A ACESSIBILIDADE E A INCLUSÃO SOCIAL.....	29
4.3. Desafios para a implementação dos veículos autônomos nas cidades	30
5. Experiências de cidades com veículos autônomos	33
5.1. EXPERIÊNCIAS DE CIDADES COM VEÍCULOS AUTÔNOMOS EM CIRCULAÇÃO	33
5.1.1. PHOENIX, ESTADO UNIDOS	33
5.1.2. CALIFORNIA, ESTADO UNIDOS	34
5.1.3. WOVEN CITY, JAPÃO	35
6. Discussão e conclusão	37
6.1. SÍNTESE DOS RESULTADOS DA PESQUISA	37
6.2. DAS IMPLICAÇÕES DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO FUTURO DAS CIDADES	38
6.3. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO URBANO E A POLÍTICA PÚBLICA	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 1 – Visão otimista e pessimista sobre os impactos dos VA no uso dos estacionamentos	14
Quadro 2 – Riscos dos Veículos Autônomos.	17
Quadro 3 – Visão otimista e pessimista sobre os impactos dos VA no uso do solo	20
Quadro 4 – impactos positivos e negativos que poderemos ter com a implementação dos VA.	36

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

VA – VEÍCULOS AUTÔNOMOS

IIHS - INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFETY

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT

ITF - INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM

SAE - SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS

NHTSA - NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Embora o trânsito seja um fenômeno físico, a mobilidade abrange um conjunto de práticas sociais e uma hierarquia contingente de valores humanos com suas consequentes ramificações. A importância central da mobilidade na vida cotidiana pode ser facilmente compreendida quando consideramos as potenciais transformações que as tecnologias emergentes de mobilidade urbana podem trazer para uma variedade de atividades diárias. Isso inclui o gerenciamento do tempo, limites aceitáveis de deslocação a pé, padrões de escolha de modo de transporte em longo prazo e sazonal, confiabilidade das viagens, expectativas de velocidade e disposição para pagar por serviços. Esses aspectos desempenham um papel fundamental no bem-estar global dos indivíduos, com efeitos físicos, mentais e sociais (Mladenović 2019).

Os profissionais de transporte desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e implementação dos veículos autônomos (VA). É essencial antecipar como essas novas tecnologias e serviços provavelmente afetarão as necessidades de infraestrutura viária, estacionamento e transporte público, e estar preparado para responder de maneira a minimizar os problemas e maximizar os benefícios globais. Podemos contribuir definindo os padrões que esses veículos devem cumprir para operar legalmente nas vias públicas. Além disso, é necessário avaliar seus benefícios e custos e desenvolver políticas que maximizem os benefícios líquidos, garantindo que sua implantação esteja alinhada aos objetivos estratégicos da comunidade. Dessa forma, os profissionais de transporte desempenham um papel vital na orientação e no planejamento eficiente da integração dos veículos autônomos na infraestrutura existente (Litman 2023).

A introdução dos VA tem o poder de provocar uma transformação significativa no futuro das cidades, trazendo consigo tanto benefícios quanto desafios para a mobilidade urbana, a segurança viária e a qualidade de vida das pessoas. Essa inovação promete melhorar a eficiência do transporte, reduzir congestionamentos e otimizar o fluxo de tráfego, ao mesmo tempo em que oferece a perspectiva de aumentar a segurança nas ruas, minimizando erros humanos. Além disso, a possibilidade de os passageiros aproveitarem o tempo de deslocamento para outras atividades e a maior inclusão de grupos específicos trazem a perspectiva de melhorar a qualidade de vida. No entanto, a implementação efetiva dessa tecnologia requer uma infraestrutura adequada e políticas regulatórias bem definidas para lidar com possíveis desafios para mitigar os impactos sociais e econômicos (Litman 2023).

Recentemente, houve um notável avanço na pesquisa e desenvolvimento de veículos autônomos, com o objetivo de melhorar diversos aspectos do transporte. Essa tecnologia visa reduzir significativamente o número de acidentes rodoviários, diminuir o consumo de energia, mitigar a poluição ambiental e aliviar

o congestionamento do tráfego, ao mesmo tempo em que proporciona uma maior acessibilidade ao transporte para todos. O progresso dos veículos autônomos promete transformar positivamente a maneira como nos deslocamos, trazendo benefícios substanciais para a sociedade e o meio ambiente, (Litman 2023).

Recentemente, foi sugerido que a experiência de dirigir pode ter potenciais efeitos negativos na saúde. Uma revisão recente de estudos científicos apresentou evidências que indicam que dirigir por longas horas pode desencadear uma resposta de estresse prolongada no organismo. Isso sugere que a atividade de direção prolongada pode ter impactos prejudiciais à saúde, aumentando os níveis de estresse ao longo do tempo. Essas descobertas ressaltam a importância de considerar os efeitos psicofisiológicos do tempo gasto ao volante e explorar estratégias para mitigar esses potenciais danos à saúde dos motoristas. (Antoun 2017).

Pesquisas sugerem que a automação tem o potencial de reduzir a carga de trabalho mental e o estresse associados à tarefa de dirigir, resultando em respostas emocionais mais positivas. Ao adotar veículos autônomos, é provável que o estresse relacionado à condução seja reduzido, o que pode trazer benefícios significativos para a saúde. Essa mudança na dinâmica de direção, na qual os humanos podem confiar nas capacidades automatizadas do veículo, tem o potencial de aliviar o estresse emocional e melhorar o bem-estar geral das pessoas (Cottrell 2013).

Cerca de 94% dos acidentes de trânsito são causados por erros humanos, a introdução de VA pode reduzir as taxas de acidentes e os custos associados em até 90%. No entanto, essa visão otimista ignora os potenciais riscos adicionais que essas tecnologias podem trazer consigo. É importante considerar cuidadosamente os desafios e as preocupações de segurança que podem surgir com os veículos autônomos, a fim de garantir uma implementação responsável e minimizar quaisquer novos riscos introduzidos por essa nova forma de transporte (Kok 2017).

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esse trabalho tem como objetivo:

- Analisar os potenciais benefícios e desafios da introdução de veículos autônomos na mobilidade urbana e na vida das pessoas nas cidades.
- Investigar as mudanças necessárias na infraestrutura das cidades para acomodar veículos autônomos, incluindo questões de segurança viária, acessibilidade e integração com outros modos de transporte.
- Avaliar os impactos econômicos e sociais da adoção de veículos autônomos na sociedade e nos diferentes ambientes urbanos.
- Propor estratégias e políticas públicas para fomentar o desenvolvimento e a implementação responsável de veículos autônomos nas cidades, considerando questões de regulação, ética, privacidade e sustentabilidade.

1.3. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A escolha do tema "Implicações do veículo autônomo no futuro das cidades" é justificada pela importância e atualidade do assunto, que está gerando um debate em todo o mundo. A introdução de veículos autônomos pode transformar profundamente a forma como as pessoas se deslocam nas cidades, trazendo benefícios e desafios para a mobilidade urbana.

De acordo com uma pesquisa do Boston Consulting Group, o mercado global de veículos autônomos pode chegar a US\$ 42 bilhões até 2025, impulsionado pelo crescimento da tecnologia de inteligência artificial e pela demanda por soluções de mobilidade mais eficientes e sustentáveis. No entanto, a adoção de VA também pode gerar mudanças significativas na indústria automotiva e na economia, além de demandar adaptações na infraestrutura das cidades e em políticas públicas.

Portanto, a análise das implicações do veículo autônomo no futuro das cidades é relevante e necessária para compreender as possíveis transformações que essa tecnologia pode trazer para as nossas vidas. Além disso, a pesquisa nesse tema pode contribuir para a formulação de estratégias e políticas públicas mais eficientes e responsáveis, que promovam a inovação tecnológica de forma a garantir a segurança, a acessibilidade e a sustentabilidade das cidades.

1.4. METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesse artigo a metodologia utilizada foi de revisão bibliográfica, que consiste em realizar uma revisão da literatura científica e técnica sobre o tema, coletando e analisando informações relevantes sobre os principais conceitos e definições, os benefícios e desafios da adoção de veículos autônomos, as mudanças necessárias na infraestrutura urbana, as políticas públicas e estratégias de implantação, entre outros aspectos.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O conteúdo desta dissertação de mestrado está organizado em seis capítulos. No presente Capítulo, "Introdução", há o enquadramento do tema. Este Capítulo refere-se também aos objetivos e metodologias utilizados bem como a justificativa para escolha do tema.

No Capítulo 2, "O que são os veículos autônomos?": apresenta-se uma definição do que é um veículo autônomo, sua classificação de acordo com o nível de automação do veículo e uma breve história dessa tecnologia.

No Capítulo 3, "Impactos dos veículos autônomos nas cidades": apresenta-se uma análise dos impactos causados pelos VA.

No Capítulo 4, "Oportunidades e desafios dos veículos autônomos para as cidades": apresenta as oportunidades e desafios para melhorar a mobilidade urbana, a acessibilidade e a inclusão social, e

desafios para a implementação dos VA nas cidades e as possíveis adaptações das cidades aos veículos autônomos.

No Capítulo 5, “Casos de estudo e experiências de cidades com veículos autônomos”: apresenta exemplos de cidades que já estão colocando em funcionamento e testes em suas ruas.

No Capítulo 6, “Conclusão e Recomendações”: há a análise final da presente dissertação de mestrado.

2

O que são veículos autônomos?

2.1. DEFINIÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

De acordo com a National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), os veículos autônomos são veículos capazes de se deslocar sem intervenção humana, utilizando sistemas de sensores, comunicação, inteligência artificial e automação para realizar tarefas como navegação, direção, frenagem e aceleração. Esses veículos podem ser totalmente autônomos, operando sem a necessidade de um motorista humano a bordo, ou parcialmente automatizados, com o motorista ainda tendo o controle do veículo, mas com assistência de tecnologias avançadas.

Os veículos autônomos têm sido desenvolvidos por montadoras de automóveis, empresas de tecnologia e universidades em todo o mundo, com o objetivo de melhorar a segurança viária, reduzir congestionamentos, economizar tempo e recursos, entre outros benefícios. No entanto, a adoção de VA também traz desafios, como questões regulatórias, éticas e de privacidade, bem como a necessidade de adaptação da infraestrutura urbana.

De acordo com a SAE International (Society of Automotive Engineers), um veículo autônomo é definido como um veículo capaz de operar sem intervenção humana ativa para direção, aceleração e frenagem. A SAE International estabeleceu seis níveis de automação para classificar os veículos autônomos, conhecidos como a Escala SAE de Automação de Veículos. Esses níveis vão desde o Nível 0, que representa um veículo totalmente controlado pelo motorista, até o Nível 5, que corresponde a um veículo totalmente autônomo, capaz de operar em todas as condições e ambientes sem a necessidade de um motorista humano. A definição da SAE International é amplamente reconhecida e adotada pela indústria automotiva e por outras organizações envolvidas no desenvolvimento e regulamentação de veículos autônomos.

Os veículos autônomos têm o potencial de oferecer mobilidade a pessoas que não dirigem, como indivíduos com deficiências, adolescentes e pessoas de baixa renda, entre outros. Aqueles que não são motoristas e vivem em áreas remotas podem optar por adquirir VA particulares. Por outro lado, os não-motoristas que vivem em áreas urbanas podem usar serviços de táxi autônomos, que provavelmente serão concentrados nas regiões centrais das cidades. Dessa forma, os veículos autônomos podem proporcionar benefícios diretos aos viajantes, melhorando o acesso a oportunidades de educação e emprego, além de aumentar a produtividade econômica da população (Litman 2023).

2.2. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

A ideia de veículos autônomos não é nova e tem sido abordada em filmes de ficção científica e literatura por décadas. No entanto, a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias para tornar os VA uma realidade começou a se intensificar nas últimas duas décadas.

O primeiro protótipo de um carro autônomo foi desenvolvido em 1921, no estado de Ohio, nos Estados Unidos. Esse modelo inicial era semelhante a um carrinho de mão e funcionava com a mesma tecnologia utilizada nos rádios. No entanto, o veículo não tinha capacidade para transportar passageiros e era controlado por outro carro que o seguia (Alcoforado 2022).

Em 1925, o engenheiro militar Francis P. Houdina apresentou o primeiro carro autônomo da história, que podia ser conduzido sem a presença de um motorista. Esse veículo, conhecido como Maravilha Americana, utilizava a tecnologia de ondas de rádio e realizou uma demonstração pelas ruas de Nova York. Infelizmente, a demonstração não foi bem-sucedida, resultando em uma colisão com outro automóvel que transportava fotógrafos (Alcoforado 2022).

Após o fracasso da Maravilha Americana, o próximo protótipo de carro autônomo surgiu apenas em 1950. Uma das grandes inovações da época foi o desenvolvimento de sensores capazes de detectar a velocidade e a localização dos veículos, permitindo seu movimento de forma autônoma. Essa tecnologia era instalada ao longo das estradas e fornecia informações direcionais para os carros equipados com receptores adequados. Um dos destaques desse período foi o GM Firebird II, lançado em 1956. Embora os sensores tenham sido aprimorados ao longo das décadas de 1950 e 1960, as estradas equipadas com essa tecnologia não se tornaram populares, levando os engenheiros a buscar outras formas de continuar perseguindo o sonho de carros sem motoristas (Pissardini 2013).

Em 1964, a General Motors (GM) patrocinou uma nova Feira Mundial em Nova York e revelou uma atualização de sua visão futurista para o sistema de transporte. Nessa visão, um sistema de controle centralizado seria responsável por controlar a direção, os freios e a velocidade de cada veículo em uma pista automática, enquanto grupos de carros se moveriam em intervalos regulares e coordenados. Essa proposta buscava aprimorar a eficiência e a segurança do transporte, oferecendo uma abordagem inovadora para o futuro da mobilidade (Wetmore 2003).

Os primeiros sistemas de assistência ao motorista, como controle de cruzeiro, foram introduzidos nas décadas de 1970 e 1980. Esses novos veículos foram equipados com avançados sensores, processadores e câmeras, que permitiam detectar a presença de outros veículos à frente e evitar colisões. Diferentemente dos protótipos anteriores, esses automóveis não dependiam de fatores externos, como um veículo-guia ou sensores nas estradas. Pela primeira vez, um carro era capaz de percorrer as estradas sem qualquer intervenção humana, representando um marco significativo no desenvolvimento dos veículos autônomos (Alcoforado 2022).

No início dos anos 2000, surgiram sistemas de assistência ao estacionamento, como sensores de estacionamento e câmeras traseiras. Esses sistemas eram os primeiros passos em direção a veículos autônomos. Em 2004, o Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) dos Estados Unidos realizou um desafio de VA no deserto, conhecido como DARPA Grand Challenge. A competição consistiu em um percurso de 240 km em terrenos difíceis e sem pavimentação, com o objetivo de desenvolver veículos autônomos capazes de operar em ambientes hostis. Embora nenhum dos veículos

tenha conseguido completar a corrida, o desafio atraiu a atenção de grandes empresas de tecnologia e automóveis, que começaram a investir em pesquisas sobre veículos autônomos (Guizzo 2011).

Em 2010, a Google anunciou que estava testando carros autônomos em estradas públicas, e desde então, outras empresas seguiram o exemplo, incluindo a Tesla, Uber, Lyft, General Motors, Ford, entre outras.

Desde então, a tecnologia de veículos autônomos evoluiu rapidamente, com o aprimoramento de sensores, câmeras, sistemas de radar e inteligência artificial. Porém, ainda há muitos desafios a serem superados, no entanto, a evolução da tecnologia sugere que a adoção de veículos autônomos pode ser uma realidade em breve.

2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Os veículos autônomos são classificados de acordo com o nível de automação, que é definido pela National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). A NHTSA criou uma escala de cinco níveis, que descreve a quantidade de controle que o motorista e o veículo têm sobre as funções de condução

A seguir, estão as quatro classificações dos veículos autônomos, de acordo com a NHTSA:

- **Nível 0 – Não Automação.** O motorista tem controle total e exclusivo dos controles primários do veículo, freio, direção e acelerador, e em todos os momentos e é o único responsável por monitorar a estrada e pela operação segura de todos os controles do veículo.
- **Nível 1 - Automação específica da função:** A automação nesse nível envolve uma ou mais funções de controle específicas, se múltiplas funções forem automatizadas, elas operam independentemente umas das outras. O motorista tem controle geral e é o único responsável pela operação segura, mas pode optar por ceder autoridade limitada sobre um controle primário, como no controle de cruise adaptativo. O veículo pode automaticamente assumir autoridade limitada sobre um controle primário, como no controle eletrônico de estabilidade, ou o sistema automatizado pode fornecer controle adicional para auxiliar o motorista em certas situações normais de direção ou de colisão iminente, por exemplo, suporte de freio dinâmico em emergências.
- **Nível 2 - Automação de Funções Combinadas:** Este nível envolve a automação de pelo menos duas funções de controle primárias projetadas para trabalhar em conjunto para liberar o motorista do controle dessas funções. Veículos neste nível de automação podem utilizar autoridade compartilhada quando o motorista cede o controle primário ativo em certas situações de direção limitada. O motorista ainda é responsável por monitorar a estrada e operação segura e deve estar disponível para controle em todos os momentos e em curto prazo.
- **Nível 3 - Automação autônoma limitada:** Os veículos com esse nível de automação permitem que o motorista ceda o controle total de todas as funções críticas de segurança sob certas condições de tráfego ou ambientais, e nessas condições, confie fortemente no veículo para monitorar as mudanças nessas condições que exigem a transição de volta ao controle do

motorista. Espera-se que o motorista esteja disponível para controle ocasional, mas com tempo de transição suficientemente confortável.

- Nível 4 - Automação de direção autônoma completa: O veículo foi projetado para executar todas as funções críticas de segurança e monitorar as condições da estrada durante toda a viagem. Tal projeto antecipa que o motorista fornecerá entrada de destino ou navegação, mas não se espera que esteja disponível para controle a qualquer momento durante a viagem. Isso inclui veículos ocupados e desocupados.

É importante notar que a maioria dos veículos autônomos atualmente disponíveis no mercado são classificados como nível 2 ou 3, enquanto os níveis mais altos de automação ainda estão em fase de desenvolvimento. Além disso, a adoção de VA em larga escala ainda enfrenta muitos desafios técnicos, regulatórios e de infraestrutura.

3

Impactos dos veículos autônomos nas cidades

3.1. IMPACTOS NO TRÂNSITO E NA MOBILIDADE URBANA

Nos últimos anos, tem havido um considerável avanço na pesquisa e desenvolvimento de veículos autônomos, com o intuito de aprimorar diversos aspectos do transporte. Os VA são projetados para reduzir acidentes nas estradas, economizar energia, diminuir a poluição e aliviar o congestionamento do tráfego, ao mesmo tempo em que proporcionam maior acessibilidade ao transporte. Essa tecnologia tem como objetivo promover um sistema de transporte mais eficiente, seguro e sustentável (Litman 2023).

Segundo Anderson (2014), a tecnologia AV pode reduzir drasticamente a frequência de falhas. De acordo com uma estimativa do Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), a implementação de sistemas de alerta de colisão dianteira e saída de faixa, assistente de visão lateral (ponto cego) e faróis adaptativos em todos os veículos poderia evitar cerca de um terço dos acidentes e fatalidades. Essas tecnologias de segurança têm o potencial de prevenir colisões e ajudar os motoristas a evitar situações de risco nas estradas, contribuindo significativamente para a redução de incidentes e a proteção dos ocupantes dos veículos (IIHS, 2010).

A implementação da frenagem automática, que é acionada quando o veículo detecta um obstáculo, tem o potencial de reduzir de forma significativa o número de colisões traseiras. Além disso, as tecnologias que permitem que o veículo assuma a responsabilidade principal pela direção, alcançando o nível 4 de automação, têm o potencial de reduzir ainda mais as estatísticas de acidentes. Isso ocorre porque grande parte dos acidentes é causada por erros cometidos pelos motoristas. Segundo a OMS, o álcool foi responsável por 15% das mortes em acidentes de trânsito no mundo em 2012. A integração dessas tecnologias de segurança ativa nos veículos pode desempenhar um papel crucial na prevenção de acidentes e na melhoria da segurança nas estradas (Anderson 2014).

Os veículos autônomos têm o potencial de reduzir a poluição ao permitir o uso de combustíveis alternativos e os veículos poderem se locomover de forma mais eficiente. A diminuição da frequência de colisões também possibilita a utilização de veículos mais leves, o que ajuda a superar problemas de alcance que limitaram o uso de veículos elétricos e outras opções de energia alternativa. No nível 4 de automação, de acordo com a NHTSA, em que os motoristas humanos se tornam desnecessários, os VA podem deixar os passageiros em seus destinos e, em seguida, recarregar ou reabastecer por conta própria. Uma das desvantagens dos veículos elétricos é a falta de infraestrutura de abastecimento e recarga. A capacidade dos VA de nível 4 de dirigir e reabastecer permite um sistema viável com menos estações de reabastecimento (Anderson 2014).

A adoção de veículos autônomos pode ter tanto impactos positivos quanto negativos nas interações sociais. Por um lado, os VA têm o potencial de facilitar o acesso a locais que promovem interações sociais e apoio social, auxiliando um papel importante na promoção da saúde mental. Além disso,

viagens compartilhadas de VA, podem oferecer oportunidades para interações sociais entre os passageiros durante as viagens, criando um ambiente propício para conexões e trocas entre as pessoas. (Soteropoulos 2019).

No entanto, é importante considerar que os VA também podem afetar as interações sociais de maneira negativa, como a diminuição da interação face a face em detrimento de uma experiência mais isolada ou a falta de contato humano direto durante a viagem. Outro aspecto preocupante é o potencial aumento do tempo de deslocamento, caso as pessoas optem por morar mais distantes de seus locais de trabalho devido à comodidade oferecida. Deslocamentos mais longos estão associados a uma diminuição do envolvimento comunitário, redução do tempo disponível para estar com amigos e familiares, além de níveis reduzidos de capital social. Esses efeitos podem resultar em uma menor participação nas atividades sociais, impactando negativamente as relações interpessoais e o bem-estar geral das pessoas. É fundamental considerar essas questões ao analisar os possíveis impactos sociais dos VA (Besser 2008, Christian 2012, Mattisson 2015).

Esses efeitos são amplamente influenciados pela taxa de adoção dos VA no mercado, e é esperado que sejam inicialmente pequenos, mas cresçam à medida que esses veículos sejam adotados em larga escala. Antecipa-se que os benefícios em termos de segurança proporcionados pelos VA serão mais rapidamente percebidos em países de alta renda, que tendem a adotar essa tecnologia mais cedo, em comparação com países de renda média e baixa, onde a adoção será mais lenta (Rueda 2017).

A tecnologia de veículos autônomos tem o potencial de reduzir o custo do congestionamento e aumentar a eficiência no consumo de combustível, resultando em uma diminuição no custo privado de condução para os usuários. No entanto, esse declínio nos custos e o aumento da mobilidade proporcionada pelos VA podem levar a um aumento no total de quilômetros percorridos por veículo, o que, por sua vez, pode resultar em externalidades negativas, como congestionamento e aumento geral no consumo de combustível. Portanto, é importante considerar os possíveis impactos adversos que o aumento dos quilômetros percorridos por veículo pode ter sobre o meio ambiente e a qualidade do transporte urbano (Anderson 2014).

Atualmente, os benefícios ou perigos dos veículos autônomos são apenas especulações, uma vez que ainda não houve uma penetração completa de veículos totalmente automatizados no mercado. Para que os impactos da revolução dos VA sejam significativos, é necessário um alcance quase total dessa tecnologia, mas as especulações sobre um horizonte de tempo tão longo são inevitavelmente incertas, (Maheshwari 2018).

3.1.1 TRANSPORTE PÚBLICO

No geral, a tecnologia de VA é amplamente vista como tendo o potencial de reduzir substancialmente, e até mesmo eliminar, muitas externalidades negativas existentes na mobilidade. Estima-se que esses custos externos sejam tão significativos quanto o próprio preço do combustível, afetando a sociedade como um todo, inclusive indivíduos de baixa renda que dependem exclusivamente do transporte público. A adoção de veículos autônomos pode contribuir para a mitigação do congestionamento do tráfego, reduzir o número de acidentes rodoviários, melhorar a qualidade do ar e proporcionar um ambiente de transporte mais seguro e eficiente. Ao abordar essas externalidades, a tecnologia VA tem o potencial de

trazer benefícios significativos para todos os segmentos da sociedade, especialmente aqueles que têm maior dependência do transporte público. (Anderson 2014).

Estudos mostram que o transporte público apresenta um menor risco de incidentes de trânsito em comparação com outros meios de transporte. Isso se deve às medidas de segurança implementadas nos sistemas de transporte público, como a presença de motoristas profissionais, rotas bem planejadas e maior controle sobre as condições de tráfego. Além disso, a capacidade de transportar muitos passageiros em um único veículo contribui para a redução do número de carros nas ruas, diminuindo assim a probabilidade de acidentes. O transporte público desempenha um papel importante na promoção da segurança viária e na melhoria da qualidade de vida nas cidades. (Rueda 2017).

O transporte público tem sido apontado como um incentivador da atividade. A natureza multimodal do transporte público incentiva as pessoas a caminharem para chegar às estações, o que pode contribuir para um estilo de vida mais ativo. A possibilidade de combinar o uso do transporte público com caminhadas proporciona uma oportunidade para as pessoas incluírem mais atividade física em suas rotinas diárias. Essa integração entre transporte público e atividade física é benéfica para a saúde e bem-estar das pessoas, além de contribuir para a redução da dependência de veículos individuais e os impactos negativos associados a eles. (Rueda 2017, Xiao 2019)

Além disso, a substituição das viagens de carro pelo transporte público poderia resultar em uma significativa redução nas emissões de poluição do ar. Esse impacto positivo seria ainda maior se a frota de transporte público fosse composta por veículos que utilizassem eletricidade, energia híbrida ou gás natural. Essas opções de energia mais limpa contribuiriam para a melhoria da qualidade do ar, reduzindo a quantidade de gases poluentes liberados na atmosfera. Ao adotar formas mais sustentáveis de transporte, como o transporte público, podemos trabalhar em direção a uma cidade mais limpa e saudável para todos. (Bel 2018, Rueda 2017).

O papel e a importância do transporte público coletivo, como trens, bondes e metrô, são fundamentais na configuração futura das cidades, assim como na implantação de veículos autônomos. Os VA podem competir diretamente com o transporte público coletivo, por exemplo, através de VA compartilhados que oferecem tarifas comparáveis e velocidades semelhantes às do transporte público. Em outros cenários, o transporte público coletivo serve como a espinha dorsal essencial do sistema de transporte da cidade, enquanto os VA desempenham um papel principalmente na conexão com a rede de transporte público. Para alcançar esse último cenário, serão necessárias políticas que garantam uma integração eficiente dos VA com o transporte público e outros modos de transporte altamente eficientes, em vez de promover uma competição prejudicial entre eles. (Stead 2019).

Embora a implementação de VA possa trazer diversos impactos para o uso do transporte público, nem todos esses impactos são positivos. Se o transporte público fosse completamente substituído por alternativas privadas de VA, como serviços de compartilhamento de viagens que oferecem transporte porta a porta, essa mudança poderia resultar em redução da atividade física e agravamento das desigualdades socioeconômicas, limitando as opções de transporte acessíveis para pessoas de baixa renda. Uma abordagem possível para mitigar essa situação é a integração dos VA no sistema de transporte público, buscando assim um equilíbrio entre as tecnologias de mobilidade emergentes e a manutenção de um serviço público inclusivo e acessível. (Henaghan 2018).

Outra possível consequência da integração dos veículos autônomos com o transporte público seria o desaparecimento dos empregos de motorista, os quais representam cerca de 4,8 milhões de funcionários nos países da União Europeia. No entanto, estudos indicam que a substituição dos motoristas profissionais por tecnologia será gradual, com o software assumindo inicialmente algumas funções de direção, enquanto ainda será necessária a presença de pessoas para realizar tarefas como manobras próximas e outras atividades específicas. Essa transição gradual permitiria uma adaptação dos empregos existentes e uma possível requalificação dos profissionais afetados pela mudança tecnológica (KPMG 2019).

As tecnologias de veículos autônomos têm o potencial de impulsionar o surgimento de táxis sem motorista e esquemas semelhantes de compartilhamento de carros, nos quais os custos associados ao tempo e ao talento dos motoristas de táxi são eliminados. Como resultado, espera-se que os táxis sem motorista se tornem mais acessíveis, eventualmente desencorajando a posse de veículos particulares. Essa ideia de táxis sem motorista é semelhante ao modelo próspero de compartilhamento de carros. Os VA podem impulsionar ainda mais os esquemas de compartilhamento de carros e viagens, pois têm a capacidade de atender várias pessoas sob demanda. Consequentemente, as famílias podem encontrar nos táxis sem motorista uma opção mais conveniente e econômica do que possuir um veículo. Além disso, em comparação com o compartilhamento de carros, espera-se que os táxis sem motorista não sejam mais caros (Fagnant 2015).

Considerando que o táxi sem motorista diminui os custos fixos anuais e a manutenção normalmente associados ao compartilhamento de carros, bem como as preocupações com estacionamento, ele oferece uma conveniência ainda maior. De fato, pesquisas recentes revelaram que o compartilhamento de carros reduz o total de quilômetros percorridos nos Estados Unidos. No entanto, como mencionado anteriormente, a acessibilidade e o menor custo das viagens trazem consigo novas demandas, especialmente para pessoas de baixa renda, que agora podem se dar ao luxo de dirigir ou utilizar serviços de táxi. Essa mudança pode ter implicações importantes no cenário socioeconômico (Martin 2011).

Uma análise recente dos dados domésticos nos Estados Unidos revelou uma redução significativa na posse de veículos e uma mudança correspondente para o compartilhamento de veículos. Essa redução pode chegar a 43%, resultando em uma média de 1,2 veículos por residência, em comparação com os 2,1 veículos anteriores. No entanto, prevê-se que essa mudança leve a um aumento de até 75% no uso de veículos individuais, com uma média de 20.406 milhas percorridas anualmente por veículo. Vale ressaltar que esse aumento na quilometragem não leva em consideração as milhas adicionais geradas durante cada viagem de retorno ao ponto de partida. Em resumo, os veículos autônomos têm o potencial de reduzir muitos dos custos associados aos modos de transporte privados, mas é provável que também estimulem um aumento no total de quilômetros percorridos. Além disso, a introdução de táxis sem motorista pode afetar o total de quilômetros percorridos, mas o efeito final ainda não está claro (Schoettle 2015).

3.1.2 CUSTOS

De acordo com Link (2014), embora o transporte seja um meio de promover o desenvolvimento das sociedades, é importante reconhecer que está intrinsecamente ligado a externalidades negativas, como poluição, acidentes e perdas humanas. Inúmeros estudos têm sido conduzidos para estimar os custos

associados a esses impactos quando se trata de veículos operados por motoristas humanos. Essas análises visam quantificar os impactos econômicos e sociais resultantes da poluição do ar, dos acidentes de trânsito e das perdas humanas, a fim de conscientizar sobre a necessidade de soluções mais sustentáveis e seguras no setor de transporte. Esses custos das externalidades são distintos dos custos diretos imediatos, como o preço da gasolina, manutenção do veículo, registro e licenciamento, ou tarifas de transporte público.

Os custos das externalidades representam custos ocultos impostos à sociedade como um todo, englobando fatores como congestionamento do tráfego, acidentes, degradação ambiental e questões de segurança. Esses custos abrangem impactos mais amplos e difíceis de quantificar, que vão além das despesas individuais imediatas e têm um impacto coletivo na sociedade. É importante considerar esses custos das externalidades ao avaliar a verdadeira magnitude dos impactos do transporte e buscar soluções que levem em conta esses fatores mais abrangentes (Link 2014).

Segundo Zipper (2021) os VA dependem da infraestrutura pública e podem acarretar grandes custos externos, exigindo, portanto, um planejamento e regulamentação mais abrangentes do que a maioria das outras tecnologias. Para alcançar os benefícios previstos, como redução de congestionamento e poluição, é necessário o estabelecimento de faixas exclusivas para permitir o pelotão de veículos autônomos, ou seja, múltiplos veículos operando juntos em alta velocidade.

Além disso, os veículos autônomos podem ser programados para priorizar benefícios individuais, como maximizar a velocidade e o conforto dos passageiros, ou benefícios coletivos, como minimizar atrasos e riscos para outros usuários das vias. Nesse sentido, os responsáveis pelas políticas devem tomar decisões sobre a construção de faixas especiais para VA, sua precificação e como regulamentar sua operação, visando maximizar os benefícios globais para a sociedade (Zipper 2021).

Os veículos autônomos podem demandar novos recursos de design de estradas, como marcações de faixa aprimoradas, sinais projetados para leitura eletrônica e repetidores sem fio em túneis para fornecer conectividade à Internet. Embora a direção autônoma possa permitir faixas de tráfego mais estreitas, adaptações significativas apenas serão viáveis em faixas especiais dedicadas a veículos automotivos, para acomodar caminhões e ônibus. À medida que os veículos autônomos se tornarem mais comuns, haverá uma pressão para que os governos reservem faixas exclusivas nas rodovias para seu uso, facilitando o pelotão de VA. Além disso, em áreas onde todos os veículos são autônomos, a necessidade de sinais de trânsito convencionais pode ser eliminada. Para promover a transição de viagens individuais de baixa ocupação para veículos compartilhados em corredores de tráfego congestionados, os governos podem precisar implementar mais faixas prioritárias para veículos com alta ocupação, (Litman 2023).

Por outro lado, as reduções nos custos de condução e o aumento na base de usuários de veículos, incluindo idosos, pessoas com deficiência e menores de 18 anos, provavelmente resultarão em um aumento geral na quantidade de quilômetros percorridos. Embora seja possível que a diminuição no consumo de combustível e nas emissões supere qualquer aumento, essa relação é incerta e requer mais análises e estudos para uma conclusão definitiva (Anderson 2014).

No passado, a implementação dos veículos autônomos enfrentava desafios significativos devido aos altos custos relacionados aos sensores, hardware, software, infraestrutura e testes extensivos necessários para garantir a segurança e a confiabilidade. No entanto, à medida que a tecnologia continua a evoluir e se tornar mais madura, espera-se que os custos diminuam gradualmente (Lousa 2018).

Milakis (2017) estimou que o custo adicional de um veículo autônomo de nível 4, que não requer intervenção humana em condições específicas, poderia variar de várias dezenas de milhares de dólares a mais de cem mil dólares em relação a um veículo convencional. No entanto, esses custos são projetados para diminuir ao longo do tempo, conforme a tecnologia se torna mais acessível e a produção em massa é alcançada.

Além disso, é importante considerar que a implantação de veículos autônomos também envolve custos adicionais relacionados à infraestrutura de suporte, como redes de comunicação, sistemas de controle de tráfego e atualizações nas estradas para garantir a segurança e a interconexão dos VA (Lousa 2018).

3.1.3 ESTACIONAMENTO

Nas áreas metropolitanas, a adoção de veículos autônomos pode resultar em um aumento na densidade urbana devido à redução da necessidade de espaços de estacionamento próximos. De acordo com Shoup (2005), cerca de 31% do espaço nos distritos centrais de grandes cidades nos Estados Unidos é utilizado para estacionamentos. Com a implementação dos VA, essa porcentagem pode diminuir à medida que houver uma redução na demanda por estacionamentos tradicionais. Isso pode permitir um melhor aproveitamento do espaço urbano, possibilitando o desenvolvimento de infraestrutura adicional ou áreas destinadas a outras finalidades.

No nível 4 de automação, um veículo autônomo teria a capacidade de deixar o passageiro em seu destino e seguir para áreas de estacionamento remoto. Além disso, os programas de compartilhamento de VA têm o potencial de reduzir a taxa de propriedade de carros individuais. Independentemente disso, a redução da demanda por estacionamento resultante dessas mudanças permitiria um maior desenvolvimento urbano, uma vez que menos espaços de estacionamento seriam necessários. Isso abriria caminho para o aproveitamento mais eficiente do espaço urbano, possibilitando a criação de infraestrutura adicional ou o uso de áreas para outras finalidades (Anderson 2014).

A implementação de frotas de veículos autônomos compartilhados pode trazer impactos positivos significativos no uso do solo urbano. A introdução desses veículos no modo de compartilhamento de viagens tem o potencial de reduzir o espaço necessário para estacionamento em áreas urbanas em até 90%. Isso significa que uma porcentagem significativa do espaço atualmente dedicado ao estacionamento de veículos particulares poderia ser realocada para outros fins, como áreas verdes, espaços públicos ou até mesmo para o desenvolvimento de infraestrutura urbana mais eficiente. Essa mudança na utilização do solo traz benefícios em termos de otimização do espaço urbano e melhoria da qualidade de vida nas cidades (Rueda 2017).

Quadro 1 – Visão otimista e pessimista sobre os impactos dos VA no uso dos estacionamentos (Stead 2019).

	PESSIMISTA	OTIMISTA
ESTACIONAMENTO	As políticas de estacionamento permanecerão como estão, ou seja, os VA usarão as vagas de estacionamento na estrada. Um crescimento na propriedade e uso de VA leva a um aumento na demanda por vagas de estacionamento na cidade. Muitos pontos de coleta/devolução serão criados na cidade, o que aumenta a quantidade de espaço alocado para os veículos.	As políticas de estacionamento facilitarão a conversão de vagas de estacionamento em novas áreas recreativas, verdes e de construção, ou em infraestruturas de transporte para meios de transporte ativos. Os espaços de embarque e desembarque são fornecidos apenas em um número limitado de locais na cidade.

3.1.4 CONGESTIONAMENTO

A abordagem tradicional para lidar com o congestionamento nas cidades tem sido o aumento da infraestrutura viária para atender à demanda crescente. No entanto, foi percebido que os investimentos em infraestrutura não conseguem acompanhar o aumento da demanda, uma vez que a expansão da infraestrutura acaba estimulando ainda mais o uso de automóveis, resultando no problema da demanda induzida (Scaringella 2001).

Anderson (2014) atribuiu três fatores principais relacionados aos veículos autônomos que afetam o congestionamento de forma positiva e às vezes negativa: redução do atraso no tráfego devido à redução de colisões de veículos; aumento do rendimento dos veículos; e mudanças no total de quilômetros percorridos por veículos.

O fato de os Veículos autônomos estarem conectados também pode fornecer uma oportunidade para mitigar a carga de congestionamento. Consequentemente, está claro que a tecnologia de VA logo terá um efeito positivo na redução do congestionamento do tráfego, a menos que induza uma demanda adicional que, por sua vez, possa adicionar mais carga a uma rede já congestionada.

Os VA apresentam uma oportunidade para a comunicação entre veículos, permitindo que eles compartilhem informações sobre suas manobras e ações (Anderson 2014). Essa comunicação entre os veículos pode resultar em uma redução significativa do tempo ocioso nas estradas, melhorando a eficiência do tráfego e do ciclo de direção. Ao saberem antecipadamente as intenções dos outros veículos, os veículos autônomos podem ajustar suas trajetórias e velocidades de maneira coordenada, evitando congestionamentos e melhorando o fluxo de tráfego como um todo. Essa capacidade de comunicação e cooperação entre os VA tem o potencial de transformar a forma como as vias são

utilizadas, aumentando a eficiência do sistema de transporte e proporcionando uma experiência de direção mais suave e eficaz.

Com base nas políticas atuais, é provável que a introdução de veículos autônomos resulte em um aumento de 10 a 30% no número total de viagens, podendo ser ainda maior, o que acarretará aumento do congestionamento de tráfego, custos de infraestrutura rodoviária e possivelmente um aumento do risco de acidentes e emissões de poluição, dependendo do tipo de viagem que está sendo impulsionada. No entanto, esses impactos podem ser influenciados pelas políticas públicas adotadas. Se as políticas priorizarem a acessibilidade e a atratividade dos VA privados, como a criação de faixas exclusivas para esses veículos, é provável que ocorra um aumento no número total de viagens de veículos. Jiang, He e Ma (2022) estimam que os VA provavelmente aumentarão o total de viagens em cerca de 10%. Por outro lado, se forem implementadas políticas que incentivem o uso compartilhado e eficiente dos veículos, como a cobrança de taxas de usuário eficientes e a disponibilidade de faixas exclusivas para veículos de alta ocupação, os serviços de compartilhamento de viagens se tornarão mais atraentes, resultando em uma redução do número total de viagens de veículos (Litman 2023).

É evidente que os benefícios da automação podem facilmente se transformar em perigos, dependendo dos pressupostos básicos adotados. As decisões de planejamento e design podem aumentar os benefícios em uma determinada área, mas também podem representar riscos para outras áreas, (Maheshwari 2018).

Segundo a Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) e a International Transport Forum (ITF) (2018) a introdução dos veículos autônomos pode gerar conflitos de planejamento. Essa tecnologia pode acabar aumentando o número total de viagens de veículos, estimulando o desenvolvimento disperso e competindo com o transporte público, os VA também podem agravar problemas como congestionamento, expansão urbana e desigualdade. Embora os veículos compartilhados reduzam a demanda por estacionamento, eles também aumentam a necessidade de infraestrutura para embarque e desembarque de passageiros. É importante considerar esses aspectos para garantir um planejamento urbano equilibrado e sustentável no contexto dos VA.

Segundo Maheshwari (2018), a automação no transporte pode resultar em um aumento do tráfego, pois mais pessoas iram optar por utilizar veículos autônomos em detrimento do transporte público. Além disso, ela argumenta que a automação pode agravar a segregação nas cidades, uma vez que aqueles que têm recursos para adquirir tecnologias avançadas de transporte podem se deslocar para áreas mais afastadas, o que poderia levar à fragmentação das comunidades urbanas.

A redução dos custos de condução pode resultar em um aumento na quilometragem percorrida pelos veículos, o que pode potencialmente levar a um aumento real no congestionamento. No entanto, a tecnologia dos veículos autônomos também pode melhorar a eficiência das estradas devido à sua operação mais eficiente e à redução de atrasos causados por acidentes. Portanto, o impacto geral da tecnologia de VA no congestionamento ainda é incerto (Anderson 2014),

3.1.5 SEGURANÇA E ACIDENTES

As estatísticas de acidentes de trânsito nos Estados Unidos em 2010 são chocantes, 32.999 mortos, 3,9 milhões de feridos e 24 milhões de veículos danificados, cujos custos tangíveis e intangíveis totalizam

US\$ 277 bilhões (Blincoe 2015). Essa carga de custos tem um efeito direto e indireto em outras áreas, tendo um impacto na produtividade, custos médicos, custos legais e judiciais, perdas no local de trabalho, custos de serviços de emergência, carga de congestionamento, custos de administração de seguros e danos à propriedade. Segundo a NHTSA e a Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), uma tendência de queda no número de acidentes nos Estados Unidos está significativamente relacionada com a adoção de novas tecnologias, como airbags, freios ABS, controle eletrônico de estabilidade, airbags laterais de proteção de cabeça e avisos de colisão frontal, chegando em 2010 com uma taxa histórica com a menor número de fatalidades por 100 milhões de milhas percorridas por veículos até então.

O erro humano é responsável por mais de noventa por cento dos acidentes no trânsito (Jermakian 2011). Portanto, os Veículos autônomos devem ser capazes de evitar um número apreciável dessas falhas, eliminando a grande maioria de todos os atrasos de tráfego.

A utilização de veículos autônomos pode acarretar riscos adicionais que devem ser cuidadosamente considerados (Kok 2017). Embora essas tecnologias tenham o potencial de melhorar a segurança nas estradas, é crucial reconhecer e lidar com os possíveis desafios e preocupações que podem surgir. A Tabela a seguir lista algum desses possíveis riscos.

Quadro 2 – Riscos dos Veículos Autônomos.

FALHAS DE HARDWARE E SOFTWARE	Sistemas eletrônicos complexos geralmente falham devido a sensores falsos, sinais distorcidos e erros de software. Veículos autônomos certamente terão falhas que contribuem para acidentes, embora sua frequência seja difícil de prever (Dawn Project 2022).
CONFIANÇA EXCESSIVA	Quando os viajantes se sentem mais seguros, eles tendem a assumir riscos adicionais, por exemplo, passageiros de veículos autônomos podem reduzir o uso do cinto de segurança (Millard-Ball 2016), isso é descrito como tecnologia de confiança excessiva (Ackerman (2017).
RISCOS DE ACIDENTES	Muitos benefícios potenciais, como redução de congestionamento, exigem veículos operando juntos em alta velocidade em faixas exclusivas, o que pode introduzir novos riscos, como motoristas humanos se juntando a faixas indevidas e aumento da gravidade das colisões. Maior viagem total do veículo, ao melhorar a conveniência e o conforto, os veículos autônomos podem aumentar o deslocamento total do veículo e, portanto, a exposição a colisões, (Trommer 2016)

RISCOS ADICIONAIS PARA VIAJANTES QUE NÃO VIAJAM DE CARRO	Veículos autônomos podem ter dificuldade em detectar e acomodar pedestres, ciclistas e motocicletas (PBIC 2017).
INVESTIMENTO REDUZIDO EM ESTRATÉGIAS DE SEGURANÇA CONVENCIONAIS	A perspectiva de veículos autônomos pode reduzir os esforços futuros para melhorar a segurança do motorista (Lawson 2018).
CUSTOS DE REPARAÇÃO DE VEÍCULOS MAIS ELEVADOS DEVIDO A EQUIPAMENTO ADICIONAL	Sensores e sistemas de controle adicionais e maior controle de qualidade provavelmente aumentarão significativamente os custos de reparo de colisões (AAA 2018).

Devido a esses novos riscos, é muito improvável que os veículos autônomos atinjam os 90% de redução de acidentes previstos. Porém após analisar os fatores de risco de acidentes de trânsito, Mueller (2020) concluiu que os VA poderiam prevenir aproximadamente 34% dos acidentes.

3.2. IMPACTOS NA INFRAESTRUTURA VIÁRIA E URBANA

3.2.1 RELAÇÃO DA MOBILIDADE COM O DESENVOLVIMENTO URBANO

No decorrer do século passado, a presença do automóvel transformou significativamente o cenário das cidades. A partir de aproximadamente 1960, a ideologia modernista ganhou predominância, resultando em um grande influxo de veículos motorizados nas áreas urbanas. Nesse processo, muitos aspectos da vitalidade do ambiente urbano sofreram deterioração (Gehl 2013).

Para Jacobs (2011), o urbanismo modernista foi influenciado pela combinação dos conceitos de Cidade-Jardim e Ville Radieuse. Nessa abordagem, a unidade fundamental do planejamento urbano deixou de ser a rua e passou a ser a superquadra, projetada para a circulação de veículos. Infelizmente, essa transformação fez com que a rua se tornasse um ambiente desfavorável para os seres humanos.

As transformações morfológicas decorrentes do movimento moderno foram fundamentadas na lógica racional de padronização e segregação de funções. À medida que os carros passaram a dominar as cidades, as calçadas estreitas foram gradualmente preenchidas com placas de sinalização, parquímetros, postes, luminárias de rua e outros obstáculos, posicionados de forma a não obstruir o fluxo do tráfego motorizado. Nesse cenário de conflito entre veículos e pedestres, os pedestres foram relegados a um espaço residual, repleto de obstáculos físicos e interrupções frequentes no ritmo da caminhada, causadas por longas esperas nos semáforos e travessias de ruas complicadas. (Gehl 2013)

O ato de viajar geralmente é considerado como uma demanda derivada, e não como uma demanda direta. A demanda derivada pode ser compreendida como a demanda pelo uso da infraestrutura de mobilidade, que surge da necessidade de participar de uma atividade específica. Nesse sentido, a maior parte da demanda não é direcionada à mobilidade em si, mas sim à utilização da mobilidade como um meio para

acessar uma atividade desejada. Nesse contexto, a viagem é considerada um aspecto inevitável para atingir um destino pretendido (Mokhtarian e Salomon 2001).

No entanto, nem todas as viagens são realizadas exclusivamente pelos benefícios que serão obtidos no destino. Muitas viagens de lazer, por exemplo, são realizadas pelo prazer da própria viagem (Banister 2004). Isso evidencia a existência da demanda induzida, que surge como resultado do aumento das condições de mobilidade.

A abordagem para solucionar o problema do congestionamento nas cidades foi através do aumento da infraestrutura viária para atender à demanda. No entanto, foi observado que os investimentos em infraestrutura não conseguem acompanhar o crescimento da demanda, uma vez que a expansão da infraestrutura acaba estimulando o aumento do uso de automóveis, resultando no problema da demanda induzida (Scaringella 2001).

Nesse contexto, para alcançar uma mobilidade urbana sustentável, é essencial que as autoridades públicas intervenham no controle da demanda por viagens, em vez de simplesmente aumentar a oferta de infraestrutura rodoviária (Costa 2013).

Com o advento dos veículos autônomos, uma grande parte do espaço atualmente dedicado aos automóveis, principalmente em áreas urbanas, pode ser repensado. Isso pode levar a uma melhoria significativa na mobilidade urbana. Os VA têm o potencial de transformar a experiência de viagem, permitindo que os passageiros descansem ou sejam produtivos durante seus deslocamentos. Estimativas indicam que os veículos com esse nível de automação devem estar disponíveis comercialmente entre as décadas de 2030 e 2040, e espera-se que representem cerca de 50% da frota de veículos. (Litman 2023).

Conforme mencionado anteriormente, a tecnologia de veículos autônomos de nível 3 ou superior provavelmente resultará em uma redução do custo de tempo dentro do veículo, uma vez que os motoristas poderão se envolver em outras atividades durante a viagem. Um efeito adicional disso pode ser o aumento da disposição dos passageiros em percorrer distâncias maiores para ir e voltar do trabalho. Isso pode levar as pessoas a se estabelecerem em áreas mais distantes do centro urbano. Assim como o surgimento do automóvel levou à expansão dos subúrbios, a introdução dos VA pode resultar em padrões de uso do solo mais dispersos e de baixa densidade nas regiões metropolitanas. Essa transformação poderia impactar a configuração urbana, exigindo uma adaptação das políticas de planejamento urbano para garantir um desenvolvimento sustentável e uma boa integração dos VA no contexto urbano (Anderson 2014).

A relação entre Veículos autônomos e ocupação do solo é complicada e um tanto paradoxal. Em um cenário, a introdução de VA poderia fortalecer uma tendência para padrões de uso da terra ainda mais dispersos e de baixa densidade ao redor das regiões metropolitanas. Em outras palavras, os VA podem resultar em um maior crescimento dos subúrbios e podem até mesmo avançar para as áreas ainda mais afastadas. No cenário completamente oposto, a tecnologia de VA elimina a necessidade de vagas de estacionamento, o que significa que vagas de estacionamento no coração das cidades podem ser liberadas para outros usos. Portanto, os Veículos autônomos podem acabar estimulando o crescimento urbano nos bairros centrais (Litman 2023).

3.2.2 DESENVOLVIMENTO URBANO E USO DA TERRA

A adoção de VA pode ter um impacto de longo prazo no desenvolvimento urbano, resultando em núcleos urbanos mais densos, com mais edifícios e menos vagas de estacionamento. No entanto, ao mesmo tempo, os VA podem levar a uma dispersão maior do desenvolvimento de baixa densidade nas áreas metropolitanas, devido à capacidade dos proprietários de se envolverem em outras atividades enquanto os veículos se dirigem sozinhos. É importante ressaltar que esses impactos podem variar dependendo do nível de dependência do carro que uma cidade possui (Stead 2019).

Segundo Bagloee (2016), veículos autônomos podem ter um impacto profundo e prolongado no padrão de uso da terra. O valor da terra aumenta proporcionalmente com sua proximidade com o centro da cidade, onde existem oportunidades de emprego em muitos setores, como bancos, mercados financeiros e muitas outras áreas de serviços. A proximidade se manifesta pelo transporte.

Quadro 3 – Visão otimista e pessimista sobre os impactos dos VA no uso do solo segundo Stead (2019).

	PESSIMISTA	OTIMISTA
USO DA TERRA	O ambiente construído será remodelado para acomodar as necessidades dos VA e seus usuários, de preferência às necessidades de outros grupos sociais. Os VA aumentam a suburbanização ou expansão devido ao conforto das viagens.	A qualidade do ambiente construído será melhorada, centralização ou regeneração de áreas internas, densificação, mudanças de uso do solo para novas áreas verdes públicas, locais e residenciais. Os VA são vistos como uma forma de promover melhor qualidade de vida nas cidades.

É importante observar que os estacionamentos monopolizam grande parte do espaço urbanos. Shoup (2005) estimou que a área total dedicada ao estacionamento é, em média, equivalente a cerca de 31% das áreas do distrito nos Estados Unidos. Em resumo, a expectativa de longo prazo com a adoção de Veículos autônomos de nível 4 é que provavelmente veremos núcleos urbanos mais densos, mais prédios e menos vagas de estacionamento. Ao mesmo tempo, segundo Anderson (2014), os VA podem levar a uma dispersão ainda maior do desenvolvimento de baixa densidade em áreas metropolitanas periféricas.

Os veículos autônomos apresentam tecnologias que oferecem manobras de aceleração e frenagem mais precisas em todos os momentos, ao mesmo tempo em que monitoram constantemente o ambiente de tráfego ao seu redor. Essa capacidade permite que os VA naveguem em velocidades mais altas, mantendo intervalos menores entre si e a uma distância segura em relação a outros veículos, proporcionando uma condução mais eficiente e segura (Ploeg 2011). Segundo Fernandes (2012) a redução dos intervalos entre os VA em uma fila não comprometerá a segurança, o que provavelmente resultará na formação de um pelotão de VA. Esse agrupamento mais próximo dos veículos autônomos tem o potencial de aumentar significativamente o rendimento das estradas, ou seja, sua capacidade de transporte. Essa melhoria no rendimento das estradas poderia ter um impacto significativo na redução de congestionamentos e na otimização do uso da infraestrutura viária.

3.3. IMPACTOS SOCIAIS

3.3.1. INCLUSÃO SOCIAL

A equidade no transporte envolve diversas prioridades, entre elas, a questão dos custos de transporte, o acesso a diferentes destinos e serviços, como serviços de saúde e oportunidades de emprego. Buscar a equidade nesses aspectos significa garantir que todas as pessoas tenham a possibilidade de se deslocar de forma acessível, eficiente e segura, independentemente de sua renda, localização geográfica ou outras características pessoais. Isso implica em desenvolver políticas e infraestruturas que levem em consideração as necessidades de diferentes grupos, buscando eliminar as barreiras e desigualdades existentes no sistema de transporte, promovendo assim a inclusão e a igualdade de oportunidades para todos (Cohen 2017).

Para certos grupos populacionais, a opção de dirigir não é viável devido a várias barreiras. Essas barreiras incluem o alto custo de possuir um veículo em tempo integral, os custos associados ao aprendizado de dirigir, dificuldades relacionadas à obtenção da habilitação, problemas de saúde, deficiência ou avanço da idade. Essas restrições de acesso ao transporte têm um impacto significativo nas comunidades afetadas, contribuindo para a desvantagem socioeconômica e dificultando o acesso a oportunidades e serviços essenciais. Para abordar essas questões, soluções de transporte alternativas e acessíveis são fundamentais para garantir a mobilidade e a inclusão social desses grupos (CSPC 2017).

A implementação de veículos autônomos com capacidade de realizar as funções básicas de direção de forma segura tem o potencial de significativamente aprimorar a mobilidade para pessoas com diferentes tipos de deficiência. Essa tecnologia inovadora abrirá novas oportunidades e possibilidades para milhões de pessoas, permitindo que elas desfrutem de uma maior independência e liberdade de locomoção. Ao eliminar a necessidade de um motorista humano, os VA oferecem uma solução inclusiva e acessível, tornando a mobilidade mais equitativa e promovendo uma sociedade mais inclusiva para todos (NHTSA 2012).

Um estudo recente foi realizado para avaliar o impacto da equidade dos veículos autônomos na acessibilidade ao emprego em Washington, DC. Os resultados revelaram que, em todos os cenários analisados, os VA aumentaram significativamente a acessibilidade ao trabalho, especialmente para populações mais desfavorecidas. Os cenários que envolviam o uso de frotas de VA compartilhados foram os mais benéficos em termos de melhorias na acessibilidade ao emprego. Esses resultados destacam o potencial dos VA em promover a equidade no acesso a oportunidades de trabalho, beneficiando particularmente grupos socioeconômicos menos privilegiados (Cohn 2019).

3.3.2. SAÚDE PÚBLICA

O ambiente urbano desempenha um papel crucial na moldagem da saúde das populações por meio de diversos fatores, como atividade física, poluição do ar, presença de espaços verdes, capital social, acesso a serviços de saúde e transporte, entre outros. As políticas de transporte urbano, em especial, têm sido apontadas como um importante meio pelo qual os ambientes urbanos podem afetar positiva ou

negativamente a saúde das pessoas. Essas políticas podem desempenhar um papel fundamental na promoção de ambientes saudáveis, incentivando a atividade física, reduzindo a exposição à poluição e garantindo o acesso equitativo aos serviços essenciais (Nieuwenhuijsen 2016)

Os potenciais efeitos dos veículos autônomos na saúde pública podem variar consideravelmente, dependendo do nível de automação, do tipo de utilização e posse, bem como do tipo de motor (Rueda 2017).

As diferentes formas de utilização e propriedade dos VA podem apresentar variações nos riscos à saúde. Por um lado, o aumento dos quilômetros percorridos por veículo por pessoa pode levar a maiores emissões e promover o sedentarismo. Por outro lado, os VA também têm o potencial de trazer benefícios à saúde, como a redução de acidentes de trânsito e a diminuição do número de veículos nas ruas, proporcionando mais espaço para atividades recreativas e áreas verdes (Rueda 2017).

A promoção da atividade física relacionada ao transporte, como caminhar, andar de bicicleta ou usar o transporte público para deslocamentos, tem sido apontada como uma estratégia para aumentar os níveis diários de atividade física (Rueda 2017, Dons 2015). Os benefícios do transporte ativo foram avaliados em várias cidades ao redor do mundo, evidenciando vantagens diretas para pedestres e ciclistas, bem como benefícios indiretos mais amplos, como a melhoria da qualidade do ar e a redução do ruído do tráfego. (Mueller 2015).

Prever o impacto dos VA no comportamento de viagem e sua influência na atividade física relacionada ao transporte é um desafio. No entanto, os VA podem resultar em um aumento de 15% a 59% nos quilômetros percorridos por veículo e uma redução no uso de transporte público e ativo (Soteropoulos 2019).

Nos modelos de transporte considerados, os veículos autônomos privados também resultaram em um padrão de crescimento urbano mais disperso, o que poderia resultar em maiores distâncias de viagem. Essa mudança poderia impactar negativamente a atratividade da caminhada e do ciclismo como modos de transporte. (Rueda 2017).

No entanto, há estudos que sugerem que os veículos autônomos compartilhados podem resultar em uma redução dos quilômetros percorridos por veículo entre 10% a 25%, se um número significativo de passageiros estiver disposto a compartilhar viagens. Os VA, especialmente quando utilizados em esquemas de compartilhamento ou caronas, provavelmente terão um impacto menor na atividade física relacionada ao transporte em comparação com os VA privados, pois essa abordagem é mais compatível com a complementação de caminhadas, ciclismo ou uso de transporte público (Soteropoulos 2019).

Um aspecto relevante dos veículos autônomos é o impacto que eles têm na redução do ruído do tráfego rodoviário. O ruído proveniente do tráfego rodoviário tem sido associado a diversos problemas de saúde, como distúrbios do sono, irritabilidade, doenças cardiovasculares e hipertensão. A implementação de VA que tendem a operar de forma mais eficiente e silenciosa, pode contribuir para a redução do ruído nas vias urbanas, proporcionando benefícios significativos para a qualidade de vida das pessoas que vivem nas proximidades dessas vias. (Nieuwenhuijsen 2018)

Da mesma forma que ocorre com a poluição do ar, o aumento no uso de VA pode levar a um aumento proporcional na exposição ao ruído, caso haja um aumento significativo nos quilômetros percorridos

por veículo. No entanto, uma abordagem alternativa para reduzir a exposição ao ruído é a eletrificação da frota de veículos. A transição para veículos elétricos reduziria as emissões de ruído, proporcionando um ambiente mais silencioso nas vias urbanas. Isso seria especialmente benéfico em áreas densamente povoadas, onde o ruído do tráfego pode ter impactos negativos na qualidade de vida das pessoas. (Soteropoulos 2019)

De acordo com um estudo realizado na Holanda, foi projetado que a adoção de uma frota composta totalmente por carros elétricos resultaria em uma redução média de 3 a 4 decibéis nos níveis de ruído urbano. Além disso, espera-se que essa transição também diminua os efeitos de incômodo relacionados ao ruído em mais de 30%. Esses resultados sugerem que a eletrificação da frota de veículos não apenas contribuiria para a redução da poluição sonora nas áreas urbanas, mas também proporcionaria um ambiente mais tranquilo e agradável para os residentes. (Verheijen, 2010).

Em velocidades mais baixas, os carros elétricos podem apresentar um desafio em termos de segurança devido à sua característica de operação silenciosa. Esse aspecto pode representar um risco, especialmente para pedestres com deficiência visual que dependem de pistas sonoras para se locomoverem com segurança. A ausência de ruído dos veículos elétricos pode dificultar a detecção desses veículos, tornando essencial a implementação de medidas de segurança adicionais, como sistemas de alerta sonoro ou tecnologias de detecção para ajudar a mitigar esse risco e garantir a segurança de todos os usuários da via. (Brown 2015, Clendinning 2018)

Em países como os Estados Unidos e o Japão, há considerações por parte dos reguladores para exigir que os fabricantes de veículos híbridos e elétricos instalem um sistema de alerta sonoro artificial. Essa medida, se aplicada aos VA elétricos, teria o objetivo de aprimorar a segurança nas estradas, proporcionando um aviso sonoro para alertar pedestres e outros usuários sobre a presença do veículo. Essa intervenção tem o potencial de reduzir os riscos e promover a segurança no contexto dos VA elétricos. (Dalrymple 2013).

As leis de trânsito estabelecem restrições contra a condução de veículos sob o efeito de álcool ou drogas. Essas políticas, aliadas às transformações nas normas sociais, têm contribuído para aumentar a conscientização pública e desencorajar o uso abusivo dessas substâncias ao volante. Essas medidas visam garantir a segurança nas estradas e proteger a vida de condutores, passageiros e pedestres. (Rueda 2017).

É possível que o amplo uso de veículos autônomos contribua para uma atitude mais relaxada em relação ao álcool e às drogas. Em um documento de discussão de 2017, a Comissão Nacional de Transporte da Austrália comparou os ocupantes de VA a passageiros de táxi e sugeriu que eles poderiam ser isentos das restrições legais relacionadas à embriaguez e ao uso de drogas ao dirigir. No entanto, é necessário estabelecer uma definição clara das capacidades e requisitos dos passageiros de VA, alinhada com as políticas futuras sobre direção sob influência de álcool e drogas. Além disso, é crucial manter esforços abrangentes para desencorajar o abuso de álcool e drogas, a fim de garantir que qualquer relaxamento das restrições no contexto das viagens rodoviárias não comprometa as normas sociais contra o abuso dessas substâncias. (Rueda 2017)

Os veículos autônomos possibilitam que os motoristas se liberem das tarefas físicas e mentais associadas à direção, permitindo que aproveitem esse tempo para realizar outras atividades produtivas durante o percurso. Isso resulta em uma redução adicional do custo de oportunidade da viagem, em termos do

valor econômico do tempo economizado para atividades realizadas fora do volante. Com os VA assumindo a responsabilidade pela condução, os motoristas podem dedicar seu tempo a tarefas como trabalhar, estudar, ler ou simplesmente relaxar, tornando a viagem mais produtiva e agradável. Essa mudança no uso do tempo traz benefícios adicionais aos usuários, aumentando ainda mais o valor e a conveniência dos veículos autônomos (Anderson 2014).

Os veículos autônomos completos não exigirão a atenção do passageiro nas tarefas de direção, o que poderá permitir que o tempo de deslocamento seja dedicado a atividades relacionadas ao trabalho. No entanto, é importante considerar dois importantes cenários, o tempo de deslocamento em VA pode ampliar o tempo de trabalho não remunerado e não oficial, resultando em jornadas de trabalho prolongadas, e o tempo de deslocamento em veículos autônomos pode passar a ser considerado oficialmente como horário de trabalho. Serão necessárias considerações sobre regulamentações trabalhistas relacionadas ao deslocamento por VA, a fim de evitar horas de trabalho excessivas e os impactos negativos associados à saúde (Rueda 2017).

Ao proporcionar maior conforto e produtividade aos passageiros, os veículos autônomos têm o potencial de tornar as viagens de longa distância e até mesmo os deslocamentos diários mais agradáveis e suportáveis. Com a capacidade de assumir a tarefa de condução, os passageiros podem aproveitar o tempo a bordo para se envolver em atividades produtivas, como trabalho, estudo ou lazer. Isso não apenas melhora a experiência de viagem, mas também aumenta a eficiência e o aproveitamento do tempo gasto no veículo, Litman (2023).

No quesito de empregos a adoção generalizada dos veículos autônomos pode ter consequências significativas para determinadas profissões. Motoristas de táxi, caminhão e ônibus podem enfrentar a perda de seus meios de subsistência, uma vez que a tecnologia avança e a necessidade de motoristas humanos diminui. Além disso, a redução na frequência de acidentes de trânsito resultante da condução autônoma pode interromper toda uma "economia do acidente", que inclui seguradoras, oficinas mecânicas, profissionais de saúde e outros setores que dependem dos acidentes como fonte de negócios. É essencial considerar esses impactos sociais e econômicos durante a transição para a era dos VA (Anderson 2014).

Rueda (2017) enfatiza a importância de uma análise minuciosa dos impactos dos veículos autônomos na saúde pública, levando em consideração a promoção da atividade física e a redução da poluição por meio de políticas públicas. Além disso, destaca a necessidade de projetar os VA com ênfase na segurança de todos os usuários das vias, não apenas dos motoristas, assegurando assim um ambiente seguro e acessível para todos.

3.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

Independentemente do surgimento de veículos autônomos, houve avanços significativos no design dos veículos e na eficiência dos motores, resultando em uma redução substancial no consumo de combustível. Em estimativas para automóveis de passageiros, constatou-se que o consumo de combustível diminuiu quase pela metade em comparação com os números registrados há 30 anos (Alson

2016). Esses avanços tecnológicos têm contribuído para uma maior sustentabilidade do setor automotivo, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e minimizando o impacto ambiental associado às emissões de gases de efeito estufa. Essa tendência de melhoria na eficiência energética dos veículos é uma conquista importante para a redução da pegada de carbono do setor de transporte e para a promoção de um futuro mais sustentável.

A adoção da tecnologia de VA, mesmo nos níveis 1, 2 e 3, promoverá uma direção mais otimizada e tecnologicamente avançada. Alguns exemplos de tecnologias básicas que contribuem para uma direção mais ecológica incluem o controle de cruzeiro e a aceleração e desaceleração suaves e progressivas. A prática dessa direção tem demonstrado ser capaz de aumentar a eficiência de combustível em cerca de 4% a 10% (NRC 2010). Esses ganhos de economia de combustível são possíveis graças à utilização inteligente da tecnologia, que visa minimizar o desperdício de energia durante a condução. A implementação de direção ecológica, impulsionada pela tecnologia autônoma, oferece uma oportunidade valiosa para reduzir ainda mais o consumo de combustível e as emissões de carbono, contribuindo para a sustentabilidade ambiental do setor de transporte.

Segundo Anderson (2014) e Folsom (2012) a tecnologia de veículos autônomos tem o potencial de melhorar significativamente a economia de combustível. Isso ocorre devido ao comportamento mais suave de aceleração e desaceleração dos VA em comparação com os motoristas humanos. Além disso, a redução da distância entre os veículos e o aumento da capacidade das vias podem trazer melhorias adicionais. Um grupo de VA bem espaçados, que se movem em forma de pelotão, melhora a eficiência do combustível e o tempo de viagem. Com a redução das colisões ao longo do tempo, os veículos poderiam ser projetados de forma mais leve, o que aumentaria ainda mais a economia de combustível.

Um pelotão de VA, mantendo uma distância adequada entre si e reduzindo a frequência de paradas ou desacelerações, assemelha-se a um trem em movimento. Essa formação de VA em sequência tem o potencial de resultar em velocidades de pico mais baixas, o que contribui para a melhoria da economia de combustível. No entanto, a velocidade efetiva das viagens pode ser aumentada, resultando em tempos de viagem mais curtos. Essa configuração de pelotão, com VA trabalhando em harmonia e mantendo uma condução mais constante, pode levar a uma melhor eficiência do sistema de transporte, combinando economia de combustível com um deslocamento mais rápido e efetivo (Folsom 2012) (Anderson 2014).

Previsões otimistas sugerem um aumento na eficiência de combustível de até 39% com a adoção dos veículos autônomos (Bagloee 2016). Além disso, como mencionado anteriormente, os VA têm o potencial de aumentar a capacidade de tráfego nas estradas e reduzir o desperdício de combustível durante períodos de congestionamento. Essas melhorias podem ser atribuídas à capacidade dos VA de se comunicarem e coordenarem seus movimentos, evitando frenagens bruscas e acelerações desnecessárias. Essas vantagens contribuem para uma maior eficiência no consumo de combustível, resultando em benefícios ambientais significativos, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e uma maior sustentabilidade do setor de transporte.

O avanço na segurança dos VA pode levar ao desenvolvimento de veículos mais leves, que por sua vez contribuem para um menor consumo de combustível. Segundo Brooker (2013), uma redução de 10% no peso geralmente resulta em uma diminuição de 6 a 7% no consumo de combustível. Nos veículos convencionais, até 20% do peso total é atribuído a recursos relacionados à segurança (NRC 2010). Com a introdução de tecnologias avançadas de segurança nos veículos autônomos, como sistemas de frenagem automática e sensores de detecção de colisão, é possível reduzir significativamente o peso

desses recursos de segurança. Essa redução de peso dos veículos não apenas contribui para uma maior eficiência no consumo de combustível, mas também abre espaço para a utilização de materiais mais leves e sustentáveis na fabricação dos automóveis.

A transição para veículos elétricos também proporciona benefícios significativos em termos de eficiência de combustível. Segundo Anderson (2014) a eficiência da transformação em carros movidos a combustíveis fósseis para carros elétricos tem uma proporção de 1 para 3. Essa diferença substancial destaca a capacidade dos veículos elétricos de utilizar a energia de forma mais eficiente, contribuindo para uma maior economia de combustível e redução das emissões de gases de efeito estufa.

A introdução dos VA pode resultar em um aumento na exposição à poluição do ar, caso ocorra um aumento geral nos quilômetros percorridos por veículo e/ou se os padrões de uso dos VA não incentivarem o uso de caminhada, ciclismo e transporte público. É importante considerar estratégias que promovam a adoção de VA em conjunto com modos de transporte mais sustentáveis, a fim de minimizar os impactos negativos na qualidade do ar (Rueda 2017).

4

Oportunidades e desafios dos veículos autônomos para as cidades

4.1. OPORTUNIDADES PARA MELHORAR A MOBILIDADE URBANA

É provável que os atuais padrões de design de ruas sejam reduzidos ou revisados devido à expectativa de que os VA exijam menos espaço físico e tenham maior precisão de direção (Maheshwari 2018). Por exemplo, uma rodovia de quatro pistas poderia ser convertida em uma rodovia de cinco pistas com um investimento mínimo, apenas reduzindo o tamanho das faixas. No entanto, estudos indicam que a disponibilidade de VA pode aumentar a atratividade de bairros residenciais suburbanos que são mais verdes ou mais acessíveis em termos de custos.

O benefício de conectar os veículos autônomos ao controle de semáforos, pode resultar significativamente em menos atrasos nos sinais e, consequentemente, uma capacidade equivalente de estrada maior. Por meio dessa conexão, os VA podem comunicar-se com os sistemas de controle de tráfego, permitindo uma coordenação mais eficiente e precisa dos tempos de sinalização. Isso leva a uma redução nos tempos de espera nos semáforos, melhorando o fluxo do tráfego e aumentando a capacidade de tráfego das vias. Essa abordagem promissora demonstra como a interconectividade entre veículos autônomos e infraestrutura pode trazer benefícios significativos para a gestão do tráfego urbano (Dresner 2004).

A conectividade dos VA, embora possa parecer restritiva, também apresenta uma oportunidade para melhorar o roteamento dos veículos. A roteirização de veículos se refere à forma como os veículos planejam suas rotas para chegar aos seus destinos. Em um modelo comum baseado no caminho mais curto, cada veículo escolhe egoisticamente sua própria rota mais curta, independentemente das escolhas dos outros veículos. Isso pode levar a padrões de tráfego não cooperativos, onde os motoristas não têm conhecimento dos destinos e rotas dos outros veículos. No entanto, em um cenário de tráfego cooperativo, em que os veículos estão conectados e conscientes dos destinos uns dos outros, é possível otimizar o roteamento de forma colaborativa, levando a um fluxo de tráfego mais eficiente e coordenado. A conectividade dos veículos autônomos abre espaço para a implementação de algoritmos avançados de roteirização que consideram o estado do tráfego em tempo real, preferências dos motoristas e outros fatores relevantes, resultando em um sistema de transporte mais inteligente e fluido.

Foi demonstrado teórica e empiricamente que o padrão de tráfego cooperativo é mais desejável do que o padrão de tráfego não cooperativo (Roughgarden 2002). Também foi demonstrado que, se vários carros egoístas colaborarem, isso ainda pode resultar em um padrão de tráfego muito superior ao padrão egoísta e não cooperativo.

Para Litman (2023) uma importante questão de planejamento relacionada aos veículos autônomos é se eles irão aumentar ou reduzir o número total de viagens de veículos e os problemas de tráfego correspondentes. Os resultados podem variar consideravelmente. Por um lado, os VA podem aumentar as viagens devido a benefícios como maior conveniência e conforto, redução dos custos operacionais dos veículos, possibilidade de viagens vazias e estímulo a deslocamentos de longa distância e a um desenvolvimento mais disperso. Por outro lado, a operação autônoma também pode facilitar o compartilhamento de veículos, permitindo que as famílias reduzam a quantidade de veículos que possuem e o número de viagens realizadas. Isso sugere que os veículos autônomos podem aumentar as viagens de veículos em áreas suburbanas e rurais, enquanto as reduzem nas áreas urbanas. No entanto, os impactos líquidos dependerão das políticas de desenvolvimento de transporte e uso do solo. Com as políticas atuais, é provável que as viagens de veículos e a expansão urbana aumentem entre 10% e 30%. No entanto, preços mais eficientes e um gerenciamento de estradas que favoreça o compartilhamento de veículos podem reduzir as viagens de veículos e os problemas relacionados a elas.

Através da oferta de transporte público e serviços de táxi mais eficientes e acessíveis, bem como da melhoria das condições para caminhadas e ciclismo, os veículos autônomos compartilhados têm o potencial de impulsionar o compartilhamento de veículos e a transformação dos ambientes urbanos. Essa transformação pode resultar em uma redução nas necessidades de estacionamento, além de incentivar uma maior concentração de residências em áreas urbanas. Os efeitos gerais das viagens dependerão, portanto, da proporção de domicílios que optam por viver em áreas urbanas em vez de suburbanas ou rurais, bem como da parcela da população que escolhe compartilhar VA em vez de possuí-los individualmente (Litman 2023).

Em relação aos sistemas de veículos autônomos compartilhados, de acordo com Brownell e Kornhauser (2014) Uma rede de táxis autônomos deve atender a cinco critérios-chave no trânsito:

1. Reduzir congestionamentos;
2. Prevenir acidentes de trânsito;
3. Ter baixo impacto ambiental;
4. Ser economicamente viável;
5. Proporcionar conforto e conveniência aos passageiros.

Nesse contexto, essa rede de táxis seria composta por veículos totalmente autônomos, e a demanda seria responsiva, ou seja, a operação ocorreria apenas após a solicitação de um passageiro.

Os viajantes podem economizar tempo com um sistema de transporte eficiente e conectado, além de estacionamento conveniente e aproveitamento do tempo produtivo dentro do veículo (Litman 2023). Porém, ao mesmo tempo a demanda induzida por uma gestão de viagens mais eficiente pode resultar em um aumento do congestionamento. A inclusão de pessoas que antes não podiam dirigir, juntamente com a mudança de viagens que eram feitas por outros modos mais saudáveis, como, caminhar e bicicleta, pode contribuir para o aumento do congestionamento nas vias (Lutin 2016).

De acordo com Maheshwari (2018), a automação no transporte pode resultar na redução da demanda por estacionamento, o que permitiria a utilização de espaços urbanos para outras finalidades, como parques ou edifícios residenciais. Além disso, ela argumenta que a automação torna os subúrbios mais atrativos, já que os veículos autônomos podem reduzir o estresse das longas viagens diárias para o trabalho.

4.2. OPORTUNIDADES PARA MELHORAR A ACESSIBILIDADE E A INCLUSÃO SOCIAL

Os VA têm o potencial de oferecer benefícios adicionais, como o aumento da acessibilidade e mobilidade, além de contribuir para uma melhor utilização do espaço urbano. Embora possam existir desvantagens significativas associadas aos veículos autônomos, acredita-se amplamente que essas desvantagens são superadas pelas vantagens que eles trazem. A capacidade de deslocamento desses veículos pode abrir novas oportunidades de transporte para pessoas com mobilidade reduzida ou sem acesso a meios de transporte convencionais. Além disso, esses veículos podem otimizar o uso do espaço nas cidades, reduzindo a necessidade de estacionamento e permitindo uma melhor alocação dos recursos urbanos. Embora desafios ainda precisem ser superados, acredita-se que os benefícios proporcionados pelos veículos autônomos superam amplamente as desvantagens associadas a essa tecnologia emergente (Anderson 2014).

De acordo com Manyika (2013), os VA têm o potencial de trazer impactos sociais positivos significativos. Por um lado, eles podem melhorar consideravelmente a segurança no transporte, reduzindo o número de acidentes e minimizando erros humanos. Além disso, os VA têm a capacidade de aumentar a acessibilidade ao transporte, especialmente para pessoas com mobilidade limitada, como aquelas com deficiências ou dificuldades de locomoção. Essa tecnologia também pode beneficiar famílias de baixa renda, proporcionando opções de transporte mais econômicas. Esses avanços promovem a inclusão social e ampliam as oportunidades de mobilidade para diversos grupos da sociedade.

A tecnologia de veículos autônomos também proporcionará um aumento na mobilidade para aqueles que atualmente não conseguem ou optam por não dirigir. Com a tecnologia de nível 4, em que o veículo não requer um motorista humano, pessoas cegas, com deficiência ou jovens demais para dirigir poderão se locomover. Esses grupos se beneficiarão com maior independência, redução do isolamento social e acesso a serviços essenciais, ampliando suas oportunidades de participação na sociedade de forma mais inclusiva. A tecnologia AV tem o potencial de transformar a vida dessas pessoas, proporcionando-lhes uma maior autonomia e conectividade (Anderson 2014).

Segundo Mladenović (2019) a ampla adoção da tecnologia de veículos autônomos pode gerar desigualdades ao precificar certos segmentos da sociedade em favor daqueles que têm recursos e disposição para pagar, causando um “gentrificação tecnológica”. Especificamente, os VA podem criar uma hierarquia de experiências em que experiências personalizadas terão um custo elevado. Alternativamente, em vez de mecanismos de preços, os VA podem depender de publicidade monetizada, o que imporia certas experiências audiovisuais a todos que não desejam ou não podem pagar. Essa hierarquia de experiências poderia perpetuar desigualdades econômicas, onde aqueles com empregos de escritório teriam maior conveniência de viagem, pois podem realizar suas tarefas de trabalho no carro.

4.3. DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS NAS CIDADES

Nos últimos anos, houve um aumento significativo nos esforços de pesquisa e desenvolvimento para tornar a ideia de veículos sem motorista uma realidade. Como destacado por Bagloee (2016), embora essa ideia exista há décadas, a produção em larga escala tem sido limitada devido aos custos elevados associados a essa tecnologia. No entanto, as recentes melhorias na tecnologia e o aumento do investimento têm impulsionado avanços significativos nessa área, tornando cada vez mais possível a fabricação em grande escala de VA. Esses avanços estão abrindo portas para um futuro com maior automação no setor de transporte e prometem trazer benefícios significativos em termos de eficiência, segurança e mobilidade.

A implementação dos veículos autônomos nas cidades enfrenta uma série de desafios que precisam ser abordados para garantir uma transição bem-sucedida (Litman 2023). Alguns dos principais desafios incluem:

- **Infraestrutura:** A adaptação da infraestrutura existente é um desafio crucial. As vias precisam ser atualizadas para permitir a comunicação entre os veículos autônomos e a infraestrutura viária, como semáforos inteligentes e sistemas de gerenciamento de tráfego (Corrêa 2019).
- **Segurança:** A segurança é uma preocupação fundamental, tanto em termos de proteção dos passageiros dos veículos autônomos quanto da interação segura com os veículos convencionais, pedestres e ciclistas. É necessário desenvolver e aprimorar sistemas avançados de segurança e lidar com questões éticas complexas relacionadas às decisões tomadas pelos VA em situações de risco (Manyika 2013).
- **Legislação e regulamentação:** É necessário estabelecer marcos regulatórios claros e atualizados para lidar com os aspectos legais dos veículos autônomos, como responsabilidade em caso de acidentes e requisitos de licenciamento. As leis de trânsito precisam ser adaptadas para acomodar VA (Zipper 2021).
- **Aceitação pública:** A aceitação e confiança do público são fundamentais para a adoção em larga escala dos veículos autônomos. É necessário fornecer informações claras sobre os benefícios e a segurança desses veículos, bem como lidar com preocupações relacionadas à perda de empregos para motoristas e questões éticas (Litman 2023).
- **Integração com o transporte público:** A integração dos veículos autônomos com o sistema de transporte público é um desafio importante. É necessário desenvolver modelos de negócios e parcerias que permitam a integração perfeita dos VA com o transporte público existente, oferecendo opções de mobilidade eficientes e acessíveis (Stead 2019).

A preparação das cidades para a chegada dos VA está ocorrendo em um ritmo mais lento em comparação ao desenvolvimento acelerado dessas tecnologias pelas empresas de tecnologia e montadoras. É importante compreender que não é suficiente simplesmente lançar os carros autônomos nas ruas e esperar que seus sensores, câmeras, chips e outras tecnologias se adaptem automaticamente a estradas com buracos e sinalização inadequada, evitando acidentes e outros desafios. Para garantir o bom

funcionamento desses veículos, algumas condições básicas são necessárias, como uma conexão estável com a internet e uma ampla cobertura de redes 3G/4G. A falta de manutenção adequada das estradas também representa um desafio, podendo se tornar um desafio para os VA. Isso ressalta a importância de investimentos na infraestrutura viária para garantir a segurança e eficiência dos veículos autônomos em nossas estradas (Macedo 2015).

5

Experiências de cidades com veículos autônomos

5.1. EXPERIÊNCIAS DE CIDADES COM VEÍCULOS AUTÔNOMOS EM CIRCULAÇÃO

Depois de anos de desenvolvimento e atualizações contínuas por parte dos principais participantes da indústria de veículos autônomos, estamos testemunhando um impulso significativo no avanço dos carros autônomos. Esses veículos estão começando a circular em programas piloto limitados, nos quais são testadas suas habilidades de navegação em ambientes reais de direção.

5.1.1. PHOENIX, ESTADO UNIDOS

A Waymo, uma empresa independente de veículos autônomos que teve origem como o projeto de carros autônomos da Google, tem realizado experimentos em Phoenix há algum tempo. Em 2016, a empresa iniciou testes de VA em uma instalação de teste com 60.000 pés quadrados localizada nos subúrbios de Phoenix. Desde então, a Waymo expandiu seus testes para as ruas das cidades da área metropolitana de Phoenix, incluindo Tempe, Mesa e Gilbert (Matthews 2020).

Em 2018, a empresa lançou um serviço de carona semipúblico e, posteriormente, começou a expandir seu serviço de carona totalmente autônomo no final de 2019. Atualmente, qualquer pessoa que resida na área de East Valley, em Phoenix, tem a possibilidade de solicitar e viajar em um táxi autônomo, sem motorista. Embora o programa esteja restrito à área de East Valley, a empresa tem planos de expandir seus serviços para todo o país no futuro.

A empresa tem feito avanços significativos em direção ao objetivo de uma cidade totalmente impulsionada por veículos autônomos.

Segundo Matthews (2020) carros autônomos estão gradualmente sendo lançados em cidades selecionadas após anos de desenvolvimento. Alguns programas de veículos autônomos atuais são bastante avançados, como o programa de compartilhamento de caronas autônomas da Waymo, demonstrando o progresso significativo alcançado pela tecnologia A nos últimos anos. Essas cidades provavelmente serão os primeiros lugares a experimentar a adoção em larga escala de VA antes que eles estejam disponíveis para o público em geral.

A Waymo acumulou uma quantidade significativa de dados e experiência operacional em Phoenix, utilizando sua frota de veículos autônomos para coletar informações valiosas sobre o desempenho, segurança e interação com o ambiente de direção do mundo real. Essas informações são usadas para aprimorar ainda mais a tecnologia autônoma da empresa e contribuir para o desenvolvimento de veículos autônomos mais seguros e confiáveis (Matthews 2020).

5.1.2. CALIFORNIA, ESTADO UNIDOS

São Francisco é o lar de diversos programas pilotos, como Aurora, Cruise, Uber e Zoox.

Desde 2017, a Cruise tem implementado o Cruise Anywhere, um programa interno de compartilhamento de viagens que permite que quase 1.000 funcionários da empresa utilizem os táxis autônomos. Por sua vez, a Zoox e a Aurora têm realizado testes com seus veículos autônomos nas ruas de São Francisco nos últimos anos. Após não obter permissão para a primeira fase de testes de VA, o Uber retornou a São Francisco em março de 2020 (Matthews 2020).

A cidade se tornou tão popular para empresas de veículos automatizados porque é lá que se localiza o Vale do Silício, onde muitas dessas empresas estão sediadas e a cultura da cidade de alta tecnologia de também pode tornar o município mais aberto a ser um teste para veículos experimentais, como carros autônomos.

De acordo com a DDS Wireless, o Vale do Silício é o indiscutível epicentro do desenvolvimento de veículos autônomos possuindo até então 64 empresas de VA, incluindo grandes empresas como Waymo e Apple, que se estabeleceram na região para testar seus veículos. No entanto, os programas de VA se espalharam pelo mundo, com projetos-piloto ocorrendo em mais de 47 cidades ao redor do globo.

O próprio ambiente urbano da cidade também pode ser um fator atrativo. Em um comunicado divulgado após receber a autorização para retomar os testes de veículos autônomos, a Uber afirmou que São Francisco é uma cidade excelente para obter conhecimentos essenciais sobre a tecnologia de direção autônoma, devido à sua complexidade e natureza em constante evolução.

No entanto, de acordo com Matthews (2020), é importante ressaltar que a implantação em larga escala de VA em São Francisco e em outras cidades ainda está em estágio inicial. São necessários mais testes, regulamentações aprimoradas e avanços tecnológicos para garantir a segurança e a eficiência desses veículos antes de sua adoção generalizada.

Em comparação com outras empresas de veículos autônomos, a Apple tem mantido uma postura mais reservada em relação aos seus projetos. No entanto, mesmo com pouca divulgação, a Apple parece estar acompanhando o ritmo de seus concorrentes. No final de 2019, os carros da Apple foram avistados nas estradas de Cupertino, Califórnia (Matthews 2020).

Embora não haja clareza quanto à data exata em que a Apple planeja lançar esses carros, as estimativas atuais apontam para um lançamento entre os anos de 2023 e 2025.

5.1.3. WOVEN CITY, JAPÃO

Enquanto outras empresas procuravam pela cidade ideal para testar seus veículos autônomos, a Toyota encontrou uma solução exclusiva, criar sua própria. Anunciada na CES 2020, a Woven City é uma cidade completamente nova situada aos pés do Monte Fuji, no Japão. Com uma área de 175 acres, a cidade abrigará 2.000 residentes permanentes e será construída desde o início com o propósito de oferecer um local perfeito para pesquisadores, arquitetos, cientistas e engenheiros testarem as mais recentes tecnologias de veículos autônomos e cidades inteligentes.

A Toyota, responsável pelo projeto da Woven City, planeja transformá-la em um laboratório vivo onde pesquisadores, arquitetos, cientistas e engenheiros possam explorar as últimas inovações em veículos autônomos e tecnologias relacionadas. A cidade terá infraestrutura adequada, como estradas e infraestrutura de carregamento, para facilitar os testes e a operação dos VA.

A Woven City, localizada na base do Monte Fuji, no Japão, é um projeto em andamento e ainda está em fase de construção. Portanto, o uso de veículos autônomos na Woven City ainda não está totalmente implementado. No entanto, a cidade está sendo projetada desde o início para ser um ambiente ideal para testar e desenvolver tecnologia de VA e cidades inteligentes (Ribeiro 2021).

Na Woven City, a mobilidade será constituída em três vias distintas, uma para condução autônoma, outra para veículos de passageiros e uma terceira reservada a pedestres. Esses três caminhos se entrelaçam como um tecido, daí o nome "Woven", tecido em inglês. Além disso, o projeto inclui uma via subterrânea dedicada ao transporte de mercadorias, o que proporciona maior fluidez no tráfego e contribui para a eficiência do planejamento urbano. A decisão de projetar esse tecido circulável tem como objetivo principal criar um ambiente silencioso quando a via é utilizada pelos pedestres. Isso não apenas evita possíveis acidentes com veículos autônomos, mas também permite que as pessoas desfrutem de caminhadas ou passeios de bicicleta sem o constante barulho de motores, buzinas ou pneus. Dessa forma, é criado um espaço tranquilo e agradável para a locomoção dos pedestres (Ribeiro 2021).

Embora ainda não haja detalhes específicos sobre como exatamente os veículos autônomos serão utilizados na Woven City, é esperado que eles desempenhem um papel importante na mobilidade dentro da cidade. A Toyota tem como objetivo criar um ambiente onde os pesquisadores possam coletar informações e dados necessários para o avanço da tecnologia autônoma em ambientes do mundo real. É importante destacar que a Woven City é um projeto de longo prazo e pode levar algum tempo até que os veículos autônomos sejam amplamente integrados e utilizados em sua totalidade na cidade.

A Woven City facilitará ao máximo para os pesquisadores coletar as informações necessárias para o desenvolvimento e operação de veículos autônomos em ambientes do mundo real.

6

Discussão e conclusão

6.1. SÍNTESE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Os sistemas de controle do veículo que aceleram e freiam automaticamente com o fluxo do tráfego podem economizar combustível com mais eficiência do que o motorista comum. Ao eliminar muitas colisões de veículos, as tecnologias de prevenção de colisões altamente eficazes podem reduzir o consumo de combustível, eliminando também o congestionamento de tráfego que as colisões causam todos os dias em nossas estradas. Reduções no consumo de combustível, é claro, geram reduções correspondentes nas emissões de gases de efeito estufa. Na medida em que os veículos possam se comunicar entre si e com a infraestrutura da rodovia, o potencial para uma direção mais segura e eficiente aumentará ainda mais (NHTSA 2012).

Com os avanços tecnológicos dos veículos autônomos, em breve, será possível a coexistência desses novos veículos com pedestres, ciclistas e veículos convencionais nas áreas urbanas. Nesse sentido, é de extrema importância que o desenvolvimento dos VA promova uma convivência harmoniosa na mobilidade urbana, garantindo a segurança e o respeito entre todos os usuários das vias. O objetivo é estabelecer um ambiente no qual os VA possam se integrar de maneira suave e segura ao fluxo de tráfego existente, contribuindo para uma mobilidade mais eficiente e sustentável (USDOT 2018).

Os avanços recentes e contínuos na tecnologia automotiva, juntamente com as pesquisas e testes em andamento de inovações emocionantes em veículos, abriram caminho para novas possibilidades de aprimorar a segurança nas estradas, promover benefícios ambientais, ampliar a mobilidade e criar oportunidades econômicas para empregos e investimentos. Essas evoluções estão impulsionando uma transformação significativa na indústria automotiva, proporcionando um cenário promissor para o futuro da mobilidade mais (NHTSA 2012).

De maneira geral, acreditamos que os benefícios da tecnologia de veículos autônomos, como a redução de acidentes, maior mobilidade e economia de combustível, superam as possíveis desvantagens e custos. No entanto, seria útil realizar mais pesquisas para estimar de forma mais precisa esses custos e benefícios, além de determinar se eles se traduzem em vantagens para o operador individual do VA ou para o público em geral. Essas análises aprofundadas podem fornecer uma visão mais completa do impacto dessa tecnologia inovadora na sociedade e ajudar a orientar seu desenvolvimento e adoção (Anderson 2014).

A implementação dos veículos autônomos é apenas uma das várias tendências que provavelmente terão impactos e demandas futuras no transporte, e não necessariamente a mais importante. Os resultados dependerão da interação dos VA com outras tendências, como a transição de veículos privados para compartilhados. Os VA provavelmente não representarão uma mudança radical na maior parte de nossas vidas e só causarão uma verdadeira mudança de paradigma se essa tecnologia promover uma transição

significativa de veículos privados para compartilhados e impulsionar a criação de comunidades multimodais (Litman 2023).

6.2. DAS IMPLICAÇÕES DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO FUTURO DAS CIDADES

Os profissionais do setor de transporte desempenham papéis essenciais no desenvolvimento e na implementação dos veículos autônomos. É crucial anteciparmos como as novas tecnologias e serviços provavelmente impactarão as demandas por infraestrutura rodoviária, estacionamentos e transporte público, e responder de forma a minimizar problemas e maximizar os benefícios gerais (Litman 2023). Podemos contribuir na definição dos padrões que esses veículos devem atender para operar legalmente em vias públicas. Além disso, devemos avaliar os benefícios e custos envolvidos e elaborar políticas que maximizem os benefícios líquidos, garantindo que sua implementação apoie os objetivos estratégicos da comunidade.

De acordo com (Litman 2023), é fundamental que o planejamento de transporte público leve em consideração o potencial impacto dos veículos autônomos e adote uma abordagem flexível para se adaptar a futuras mudanças no comportamento do usuário e na tecnologia veicular. Litman (2023) sugere que os planejadores de transporte público considerem a viabilidade de integrar os veículos autônomos nas redes de transporte público já existentes e incentivem o uso de veículos compartilhados. Essas medidas podem promover uma maior eficiência e sustentabilidade no sistema de transporte, além de atender às necessidades em constante evolução dos usuários.

Resumo geral dos impactos positivos e negativos que poderemos ter com a implementação dos VA.

Quadro 4 – impactos positivos e negativos que poderemos ter com a implementação dos VA.

IMPACTOS NAS CIDADES	
IMPACTOS POSITIVOS	
Maior mobilidade	Pessoas com mobilidade reduzida
	Idosos
	Crianças
	facilitar o compartilhamento de carros e viagens
Maior eficiência	Conectividade porta em porta
	Produtividade durante a viagem
	Menos preocupações ao estacionar
	Maior capacidade rodoviária e redução de custos
	redução do congestionamento e custos rodoviários
Maior eficiência nos espaços urbanos	Menos sinais nas ruas

	Ruas menores
	Menos estacionamentos e custos reduzidos
Maior segurança	Menos acidentes
	Redução de riscos de colisão e custos de seguro
	Pode reduzir a condução de alto risco.
Amigo do meio ambiente	Redução do consumo de energia e poluição
	Mobilidade elétrica
IMPACTOS NEGATIVOS	
Emprego reduzido	Empregos para motoristas podem diminuir.
Aumento dos problemas de trânsito	Aumento das distancias e tempo de viagem
	Aumento do congestionamento
	Menos uso de transporte público, bicicletas e caminhadas.
	Previsões otimistas de direção autônoma podem desencorajar outras melhorias de transporte e estratégias de gerenciamento.
Uso ineficiente dos espaços	Dominação de carros nas ruas
	Espalhamento de cidades
Novas preocupações de segurança	Preocupações sobre ataque de hackers
	Perca de privacidade
	Pode aumentar os riscos para outros usuários da estrada
Preocupações ambientais	Aumento de distancias de viagens
	Aumento de congestionamento devido novas viagens
	Aumento de poluição e os custos relacionados à expansão
Aumento dos custos de infraestrutura	padrões de projeto e manutenção de rodovias mais elevados.

6.3. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO URBANO E A POLÍTICA PÚBLICA

Conforme Maheshwari (2018), a automação no transporte apresenta um potencial significativo para transformar a forma urbana. No entanto, é crucial que os formuladores de políticas e urbanistas analisem minuciosamente os possíveis impactos dessa tecnologia. Ela defende que a automação deve ser encarada como uma oportunidade para promover cidades mais sustentáveis, inclusivas e acessíveis para todos os seus habitantes.

A organização “Shared Mobility Principles for Livable Cities” cita dez princípios para orientar os tomadores de decisão urbana e as partes interessadas em direção aos melhores resultados para todos:

1. Planejar juntos nossas cidades e sua mobilidade.
2. Priorizar as pessoas sobre os veículos.
3. Apoiar o uso compartilhado e eficiente de veículos.
4. Envolver-se com as partes interessadas.
5. Promover a equidade.
6. Liderar a transição para energia limpa e renovável.
7. Apoiar taxas de usuário justas em todos os modos.
8. Visar benefícios públicos por meio de dados abertos.
9. Trabalhar para integração e conectividade contínua.
10. Em áreas urbanas densas, os veículos autônomos devem operar apenas em frotas compartilhadas.

Para garantir uma integração bem-sucedida dos veículos autônomos nas cidades, é necessário considerar aspectos como infraestrutura e regulamentação, além disso, é importante avaliar o impacto social e econômico dessa mudança, garantindo que a tecnologia seja inclusiva e acessível a todos os segmentos da sociedade. A implementação dos veículos autônomos também requer uma abordagem colaborativa entre as partes interessadas, incluindo governos, empresas, especialistas em transporte e a comunidade em geral. A cooperação e o diálogo são essenciais para enfrentar os desafios e maximizar os benefícios dessa inovação.

De acordo com Freemark (2022), Larco (2018) e WEF (2020), as seguintes estratégias podem ajudar a maximizar os benefícios dos veículos autônomos e minimizar seus custos sociais:

- Enfatizar objetivos sociais no sistema de transporte.
- Testar e regulamentar novas tecnologias para segurança e eficiência.

- Assegurar a coleta responsável, armazenamento e compartilhamento de dados importantes, como viagens de veículos e conflitos para medir os impactos positivos e negativos.
- Exigir que veículos autônomos sejam programados com base em objetivos éticos e comunitários.
- Implementar políticas, como tarifação eficiente e prioridade de veículos no trânsito, para favorecer viagens de maior valor e viagens com maior economia de espaço e limitar os volumes de tráfego de veículos a níveis ideais.
- Assegurar que os serviços autônomos compartilhados sejam acessíveis e atendam pessoas com necessidades especiais.
- Integrar serviços autônomos compartilhados em sistemas de transporte multimodais, para fornecer acesso a estações de transporte público e reduzir faixas de tráfego para que mais espaço viário esteja disponível para ciclovias, calçadas e espaços verdes.
- Incorporar um design universal que acomode pessoas com necessidades e habilidades especiais.
- Usar reduções de tráfego de veículos para redesenhar ruas e melhorar a habitabilidade urbana.
- Use as necessidades de estacionamento reduzidas para aumentar as densidades urbanas e os espaços verdes.
- Desenvolvimento de preços eficiente para evitar expansão ineficiente.

Em conclusão, fica claro que o veículo autônomo tem o potencial de ter um impacto significativo no futuro das cidades. As implicações abrangem uma variedade de áreas, incluindo mobilidade, segurança, eficiência energética e qualidade de vida. A introdução dos veículos autônomos pode revolucionar a forma como nos deslocamos, oferecendo uma opção de transporte mais conveniente, eficiente e acessível para os cidadãos. Além disso, a automação dos veículos promete melhorar a segurança nas estradas, reduzindo a incidência de acidentes causados por erro humano.

No entanto, a implementação bem-sucedida dos veículos autônomos nas cidades requer uma abordagem cuidadosa e planejamento estratégico. É necessário considerar questões de infraestrutura, legislação e integração com os sistemas de transporte existentes. Além disso, é importante levar em conta as implicações sociais e econômicas do advento dos veículos autônomos. Também é fundamental garantir que a tecnologia seja acessível a todos os segmentos da sociedade, evitando aumentar a desigualdade e a exclusão digital.

Em suma, o futuro das cidades está intimamente ligado ao desenvolvimento e adoção dos veículos autônomos. Com a implementação adequada e a consideração cuidadosa de seus impactos, os veículos autônomos têm o potencial de melhorar a qualidade de vida nas cidades, oferecendo uma mobilidade mais eficiente, segura e sustentável.

No entanto, devemos estar cientes de que a transição para os veículos autônomos é um processo gradual e complexo. É necessário um planejamento estratégico e uma avaliação contínua dos impactos e desafios emergentes. Com uma abordagem cuidadosa e responsável, os veículos autônomos têm o potencial de

melhorar a qualidade de vida nas cidades, promovendo uma mobilidade mais segura, sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAA (2018), Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Repair Costs, Fact Sheet, AAA News Room (<https://newsroom.aaa.com>); at <https://bit.ly/39JO6CI>.
- Ackerman, E. (2017), "Toyota's Gill Pratt on Self-Driving Cars and the Reality of Full Autonomy," Spectrum, International Institute of Electrical Engineers (www.ieee.org); at <https://bit.ly/2FJYJax>.
- Alcoforado, f. (2022). As grandes invenções no transporte terrestre e dutoviário da história e sua futura evolução.
- Alexandra S. Mueller, Jessica B. Cicchino and David S. Zuby (2020), What Humanlike Errors Do Autonomous Vehicles Need to Avoid to Maximize Safety?, Insurance Institute for Highway Safety (www.iihs.org); at www.iihs.org/topics/bibliography/ref/2205.
- Alson J, Hula A, Bunker A (2016) Light-duty automotive technology, carbon dioxide emissions, and fuel economy trends: 1975 through 2016.
- Anderson JM, Nidhi K, Stanley KD, Sorensen P, Samaras C, Oluwatola OA (2014) Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers. Rand Corporation.
- Antoun M, Edwards KM, Sweeting J, Ding D. (2017). The acute physiological stress response to driving: a systematic review. PLOS ONE 12(10):e0185517
- Bagloee, S.A., Tavana, M., Asadi, M. et al. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. J. Mod. Transport. 24, 284–303 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3>
- Banister, D. (2004). Transport Planning. New York: Taylor & Francis e-Library
- Bel G, Holst M. (2018). Evaluation of the impact of bus rapid transit on air pollution. Transport Policy 63:209–20
- Besser LM, Marcus M, Frumkin H. (2008). Commute time and social capital in the U.S. Am. J. Prev. Med.34(3):207–11
- Blincoe L, Miller TR, Zaloshnja E, Lawrence BA (2015) The economic and societal impact of motor vehicle crashes, 2010 (Revised)
- Brooker AD, Ward J, Wang L (2013) Light weighting impacts on fuel economy, cost, and component losses. SAE Technical Paper.
- Brown AL. (2015). Effects of road traffic noise on health: from burden of disease to effectiveness of interventions. Procedia Environ. Sci. 30:3–9
- Brownell, C e A Kornhauser. (2014). "A Driverless Alternative: Fleet Size and Cost Requirements for a Statewide Autonomous Taxi Network in New Jersey". Transportation Research Record 1, no. 2416: 73–81. 10.3141/2416-09. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2416-09>.
- Christian TJ. (2012). Automobile commuting duration and the quantity of time spent with spouse, children, and friends. Prev. Med. 55(3):215–18
- Clendinning EA. (2018). Driving future sounds: imagination, identity and safety in electric vehicle noise design. Sound Stud. 4(1):61–76

- Cohen S, Shirazi S, Curtis T. (2017). Can we advance social equity with shared, autonomous and electric vehicles? Policy Brief, Inst. Transp. Stud., Univ. Calif., Davis. http://www.transformca.org/sites/default/files/3R.Equity.Indesign.Final_.pdf
- Cohn J, Ezike R, Martin J, Donkor K, Ridgway M, Balding M. (2019). Examining the equity impacts of autonomous vehicles: a travel demand model approach. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2673:23–35
- Corrêa, E. (2019). Análise dos Impactos dos Veículos Autônomos em Ambientes Urbanos - O caso de Florianópolis. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/122212/2/350886.pdf>.
- Costa, A. G. V, B. M Pegoraro, F Araldi, G. M Oliveira, M Martorelli e P. C Nóbrega. (2013). Política Nacional de Mobilidade Urbana. edição de Ministério das Cidades. Brasília DF: Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. <http://www.portalfederativo.gov.br/noticias/destaques/municipios-devem-implantar-planoslocais-de-mobilidade-urbana/CartilhaLei12587site.pdf>
- Cottrell ND, Barton BK. (2013). The role of automation in reducing stress and negative affect while driving. *Theor. Issues Ergon. Sci.* 14(1):53–68
- CSPC (Cent. Study Pres. Congr.). (2017). The autonomous vehicle revolution: fostering innovation with smart regulation. Rep., CSPC, Washington, DC
- Dalrymple G. (2013). Minimum sound requirements for hybrid and electric vehicles. Draft Environ. Assess. Docket NHTSA-2011-0100, US Dep. Transp. Natl. Highw. Traffic Saf. Adm.,
- Dawn Project (2022), Tesla Full Self-driving Safety Analysis, The Dawn Project: Making Computers Safe for Humanity (<https://dawnproject.com>); at <https://bit.ly/3rlvh4q>.
- DDS Wireless. 5 Cities With Noteworthy Autonomous Vehicle Pilot Programs. <https://ddswireless.com/blog/5-cities-with-noteworthy-autonomous-vehicle-pilot-programs/>
- Defense Advanced Research Projects Agency (2015). Breakthrough technologies for national security. <https://www.darpa.mil/attachments/DARPA2015.pdf>.
- Dons E, Götschi T, Nieuwenhuijsen M, de Nazelle A, Anaya E, et al. 2015. Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA): protocol for a multi-centre, longitudinal study. *BMC Public Health* 15(1):1126
- Dresner K, Stone P (2004) Multiagent traffic management: a reservation-based intersection control mechanism. In: Proceedings of the Third international joint conference on autonomous agents and multiagent systems, 2004. AAMAS 2004, pp. 530–537
- Fagnant DJ, Kockelman K (2015) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transp Res Part A* 77:167–181
- Fernandes P, Nunes U (2012) Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles: strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 13:91–106
- Folsom T (2012) Energy and autonomous urban land vehicles. *IEEE Technol Soc Mag* 2:28–38.
- Gehl, Jan. (2013). *Cidades Para Pessoas*. São Paulo: Perspectiva.
- Guizzo E (2011) How google's self-driving car works. *IEEE Spectrum Online*, October 18

- Henaghan J, ed. (2018). Preparing communities for autonomous vehicles. Rep., Am. Plan. Assoc., Chicago. <https://planning-org-uploaded-media.s3.amazonaws.com/document/Autonomous-VehiclesSymposium-Report.pdf>
- IIHS (2010) New estimates of benefits of crash avoidance features on passenger vehicles, In: report, S. (Ed.), Insurance Institute for Highway Safety, pp. 4–5 40.
- ITF (2018), Safer Roads with Automated Vehicles? International Transport Forum (www.itf-oecd.org); at www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safer-roads-automated-vehicles.pdf
- Jacobs, J. (2011). The death and life of great American cities. New York: Random House
- Jermakian JS (2011) Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies. *Accid Anal Prev* 43:732–740 41.
- Jerome M. Lutin, (2016). The Challenge of Planning for a World of Automated Vehicles – Definitions, Characteristics, and Modal Use Considerations, in Transportation Research Board 96th Annual Meeting, 2016.
- Jiang, Qinhua & He, Brian & Ma, Jiaqi. (2022). Connected automated vehicle impacts in Southern California part-II: VMT, emissions, and equity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 109. 103381. 10.1016/j.trd.2022.103381.
- Kok I, et al. (2017), Rethinking Transportation 2020-2030: Disruption of Transportation and the Collapse of the Internal-Combustion Vehicle & Oil Industries, RethinkX (www.rethinkx.com); at <http://bit.ly/2pL0cZV>.
- KPMG Int. (2019). 2019 autonomous vehicles readiness index: assessing countries' preparedness for autonomous vehicles. Rep. 136024-G, KPMG Int. Amstelveen, Neth., <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/2019-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>
- Link, Heike & Nash, Chris & Ricci, A. & Shires, Jeremy. (2014). A Generalised Approach for Measuring the Marginal Social Costs of Road Transport in Europe. *International Journal of Sustainable Transportation*. 10. 141217133925009. 10.1080/15568318.2013.861044.
- Litman, T. (2023). Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning.
- Lousa, A. J. M. (2018). Veículos Autônomos e Conetados-Tecnologia e Identificação de Possíveis Alterações na Infraestrutura de Transporte (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra).
- Macedo, J. (2015). Os desafios enfrentados pelos carros autônomos. *Canaltech*. <https://arquivo.canaltech.com.br/carros/os-desafios-enfrentados-pelos-carros-autonomos-52651/>
- Maheshwari, Tanvi. (2018) "How Will Automation in Transport Flows Impact Future Urban Form?"
- Manyika J, Chui M, Bughin J, Dobbs R, Bisson P, Marrs A (2013) Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute New York.
- Martin EW, Shaheen S (2011) Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 12:1074–1086.

- Matthew, K (2020). The 4 cities competing to fully implement autonomous vehicles. IOT Times. <https://iot.eetimes.com/the-4-cities-competing-to-fully-implement-autonomous-vehicles/>
- Mattisson K, Håkansson C, Jakobsson K. (2015). Relationships between commuting and social capital among men and women in southern Sweden. *Environ. Behav.* 47(7):734–53
- Milakis, D. Arem, B. Wee B, (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Volume 21, Issue 4, 2017, Pages 324-348, ISSN 1547-2450, <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>.
- Milakis, D., Snelder, M., Arem, B. van, Wee, B. van, & Homem de Almeida Correia, G. (2017). Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1). <https://doi.org/10.18757/ejtir.2017.17.1.3180>
- Millard-Ball, A (2016). Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities. *Journal of Planning Education and Research*, pp. 1-7 (DOI: 10.1177/0739456X16675674); at <https://bit.ly/2hhYrxV>
- Mladenovic, Milos & Lehtinen, Sanna & Soh, Emily & Martens, Karel. (2019). Emerging Urban Mobility Technologies through the Lens of Everyday Urban Aesthetics: Case of Self-Driving Vehicle. *Essays in Philosophy*. 20. 10.7710/1526-0569.1633.
- Mokhtarian, P e I. Salomon. (2001). "How derived is the demand for travel? Some Conceptual and measurement considerations.". *Transportation Research A* 35, no. 8: 695 – 719
10.1016/S0965-8564(00)00013-6. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00013-6).
- Mueller N, Rojas-Rueda D, Cole-Hunter T, de Nazelle A, Dons E, et al. (2015). Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Prev. Med.* 76:103–14
- NHTSA (2012) 2010 motor vehicle crashes: overview. US Department of Transportation, Washington, DC, Research Note DOT HS 811, 552 39.
- Nico Larco, et al. (2018), AVs in the Pacific Northwest: Reducing Greenhouse Gas Emissions in a Time of Automation, *Urbanism Next Center* (<https://urbanismnext.uoregon.edu>): at <https://bit.ly/2MHIXix>.
- Nieuwenhuijsen MJ, Gascon M, Martinez D, Ponjoan A, Blanch J, et al. (2018). Air pollution, noise, blue space, and green space and premature mortality in Barcelona: a mega cohort. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15(11):E2405
- Nieuwenhuijsen MJ. (2016). Urban and transport planning, environmental exposures and health-new concepts, methods and tools to improve health in cities. *Environ. Health.* 15(Suppl. 1):38
- NRC N.R.C. (2010) Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use. National Academies Press. doi: 10.17226/12794.
- PBIC (2017), Automated and Connected Vehicles, Pedestrians, and Bicyclists, *Pedestrian and Bicycle Information Center* (www.pedbikeinfo.org); at www.pedbikeinfo.org/AV.
- Pissardini R, Wei D, Júnior E. (2013). Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico E Estado-Da-Arte.
- Ploeg J, Serrarens AFA, Heijenk GJ (2011) Connect & drive: design and evaluation of cooperative adaptive cruise control for congestion reduction. *J Mod Transp* 19:207–213

- Ribeiro, I (2021). Toyota cria cidade inteligente no Japão. Woven City pronta em 2024. JornalismoPortoNet. <https://www.jpn.up.pt/2021/06/07/toyota-cria-cidade-inteligente-no-japao-woven-city-pronta-em-2024/>
- Rojas-Rueda, David & Nieuwenhuijsen, Mark & Khreis, Haneen. (2017). Autonomous Vehicles and Public Health: Literature Review. Journal of Transport & Health. 5. S13. 10.1016/j.jth.2017.05.292.
- Roughgarden T, Tardos E' (2002) How bad is selfish routing? J ACM (JACM) 49:236–259
- SAE International (2021), Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles" -, Technical Report, J3016.
- Scaringella, R. (2001). "A crise da mobilidade urbana em São Paulo". São Paulo em Perspectiva 15: 55 – 59 10.1590/S0102-88392001000100007 <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-88392001000100007>
- Schoettle B, Sivak M (2015) Potential impact of self-driving vehicles on household vehicle demand and usage.
- Shared Mobility Principles for Livable Cities (www.sharedmobilityprinciples.org). Principles to guide decision-makers and stakeholders toward the best outcomes for new mobility options.
- Shoup DC (2005) The high cost of free parking. Planners Press, Chicago
- Soteropoulos A, Berger M, Ciari F. (2019). Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use:an international review of modelling studies. Transp. Rev. 39:29–49
- Stead, D. Vaddadi, B. Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies. Cities, Volume 92, 2019, Pages 125-133, ISSN 0264-2751, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.020>.
- Stefan Trommer, et al. (2016), Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour, Institute of Transport Research (www.ifmo.de); at <http://bit.ly/2kIAOOQ>.
- Steve Lawson (2018), Tackling the Transition to Automated Vehicles, Roads that Cars Can Read Report III, European Road Assessment Association (www.eurorap.org); at <https://bit.ly/2IrYTTQ>.
- USDOT. (2018). Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicle 3.0. edição de U.S. Department of Transportation. Washington, DC. <https://www.transportation.gov/av/3>.
- Verheijen E, Jabben J. (2010). Effect of electric cars on traffic noise and safety. RIVM Lett. Rep. 680300009/2010, Natl. Inst. Public Health Environ. (RIVM), Bilthoven, Neth
- WEF (2020), Guidelines for City Mobility: Steering Towards Collaboration, World Economic Forum (www.weforum.org/reports/guidelines-for-city-mobility-2020)
- Wetmore, J. (2003). Driving the Dream: The History and Motivations behind Sixty Years of Automated Highway Systems in America. Automotive History Review. Summer, 2003. pp. 4- 19.
- Xiao C, Goryakin Y, Cecchini M. (2019). Physical activity levels and new public transit: a systematic review and meta-analysis. Am. J. Prev. Med. 56(3):464–73
- Yonah Freemark, et al. (2022), Regulations to Respond to the Potential Benefits and Perils of Self-Driving Cars, Urban Institute (www.urban.org); at <https://urbn.is/3UE7Ekl>.

Zipper, D. (2021), When Cities Say No to New Transportation Technology, City Lab (www.bloomberg.com/citylab); <https://bloom.bg/3ioMpSL>.