

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**



PUC GOIÁS

**UM ESTUDO SOBRE COMO A AUTOMAÇÃO DE VEÍCULOS ATRAVÉS DA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODERIA MELHORAR O TRÂNSITO URBANO**

CAIO MARQUES SILVA

**GOIÂNIA,
2023**

CAIO MARQUES SILVA

**UM ESTUDO SOBRE COMO A AUTOMAÇÃO DE VEÍCULOS ATRAVÉS DA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODERIA MELHORAR O TRÂNSITO URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica e de Artes da Pontifícia
Universidade Católica de Goiás, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia da Computação.

Orientadora: Dra. SOLANGE DA SILVA

Banca examinadora:

Profa. Ma. Lucilia Gomes Ribeiro

Prof. Me. Gustavo Siqueira Vinhal

**GOIÂNIA,
2023**

CAIO MARQUES SILVA

UM ESTUDO SOBRE COMO A AUTOMAÇÃO DE VEÍCULOS ATRAVÉS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODERIA MELHORAR O TRÂNSITO URBANO

Este Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para obtenção o título de Bacharel em Engenharia da Computação, e aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em 15/12/2023.

Banca Examinadora:

Orientadora: Profa. Dra. Solange da Silva

Examinadora: Profa. Ma. Lucilia Gomes
Ribeiro

Examinadora: Prof. Me. Gustavo Siqueira
Vinhai

GOIÂNIA
2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todas as pessoas que acreditaram em mim e me apoiaram ao longo dessa jornada acadêmica. Agradeço em especial aos meus familiares e amigos, que estiveram sempre presentes, oferecendo suporte emocional e encorajamento.

Também dedico este trabalho aos meus professores e orientadores, que me guiaram e me ensinaram tanto durante esses anos de estudo. Seus conhecimentos, experiências e conselhos foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Por fim, dedico este trabalho à minha própria jornada de aprendizado e crescimento pessoal. Agradeço por todas as lições e desafios que encontrei ao longo do caminho, pois foram eles que me fizeram chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada acadêmica, apoiando-me e incentivando-me a superar desafios e alcançar meus objetivos.

Agradeço à minha amada família, por seu amor incondicional, paciência e constante apoio ao longo desses anos de estudo. Vocês foram meu alicerce, sempre me encorajando a perseguir meus sonhos e acreditando em mim.

Agradeço à minha orientadora, pela sua orientação, dedicação e expertise durante todo o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Seu conhecimento, paciência e incentivo foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico. Sou grato pela oportunidade de aprender com você e pela confiança que depositou em mim.

Aos meus professores, pelos ensinamentos transmitidos ao longo de toda a graduação. Suas aulas, discussões e orientações foram essenciais para a minha formação acadêmica. Agradeço pela generosidade em compartilhar seu conhecimento e por despertarem em mim o interesse pelo aprendizado contínuo.

Aos meus colegas de curso, pela parceria, apoio mútuo e momentos compartilhados ao longo dessa jornada. Juntos, enfrentamos desafios, superamos obstáculos e celebramos conquistas. Sou grato por cada amizade construída e por todo o apoio recebido.

Por fim, expresso minha gratidão a todos os demais familiares, amigos e pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso acadêmico. Seu apoio, incentivo e palavras de encorajamento foram de grande importância para que eu chegasse até aqui.

A todos vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

A cada ano que passa a população cresce e isso é visto de maneira mais expressiva em grandes centros urbanos. Assim, a quantidade de pessoas que utilizam veículos urbanos privados também aumenta. A infraestrutura de transporte das cidades não consegue acompanhar esse crescimento. Os constantes engarrafamentos vivenciados nos centros urbanos têm causado diversos transtornos de ordem econômica, social e ambiental à população. O objetivo deste trabalho foi o de realizar uma revisão bibliográfica para mostrar como a integração da Inteligência Artificial e veículos autônomos pode melhorar o tráfego urbano, tornando as cidades mais fluidas. Quanto aos procedimentos técnicos é uma pesquisa bibliográfica e documental. Após o estudo conclui-se que, a integração da IA na automação de veículos é uma tendência que está moldando o futuro do trânsito urbano. O potencial para acelerar o tráfego e tornar as cidades mais fluidas é evidente, mas também são necessários esforços contínuos para superar desafios regulatórios, éticos e de segurança. À medida que essa tecnologia continua a evoluir, seu impacto na mobilidade urbana será inegável, promovendo cidades mais eficientes, seguras e acessíveis para todos. Além disso, conclui-se também que a automação de veículos, impulsionada pela inteligência artificial, tem o potencial de revolucionar o trânsito urbano e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Com investimentos contínuos e uma abordagem cuidadosa, pode-se caminhar em direção a um futuro de mobilidade mais eficiente, segura e sustentável.

Palavras chaves: Inteligência Artificial. Carros Autônomos. *Machine Learning*. Cidades Inteligentes. Engenharia de Tráfego.

ABSTRACT

As each year passes, the population grows, and this is more prominently observed in large urban centers. Consequently, the number of individuals using private urban vehicles also increases. However, the transportation infrastructure of cities struggles to keep pace with this growth. The persistent traffic jams experienced in urban centers have caused various economic, social, and environmental disruptions to the population. The aim of this study was to conduct a literature review to demonstrate how the integration of Artificial Intelligence and autonomous vehicles can enhance urban traffic, making cities more fluid. Regarding the technical procedures, it is a bibliographic and documentary research. After the study, it is concluded that the integration of AI in vehicle automation is a trend shaping the future of urban traffic. The potential to expedite traffic and make cities more fluid is evident, but continuous efforts are also needed to overcome regulatory, ethical, and safety challenges. As this technology continues to evolve, its impact on urban mobility will be undeniable, promoting more efficient, secure, and accessible cities for everyone. Furthermore, it is also concluded that vehicle automation, driven by artificial intelligence, has the potential to revolutionize urban traffic and improve the quality of life in cities. With ongoing investments and a careful approach, one can move towards a future of more efficient, safe, and sustainable mobility.

Keywords: artificial intelligence; autonomous cars; machine learning; smart cities; traffic engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Planos orbitais dos satélites da constelação GPS	17
Figura 2 - Posicionamento GPS baseado no centro de massa da Terra	18
Figura 3 - Taj Mahal original	23
Figura 4 - Taj Mahal pós processado pela Visão Computacional	23
Figura 5 - Visão Computacional interpretando elementos de um cenário urbano real	24
Figura 6 - O ciclo de transportes e uso do solo	25
Figura 7 - Conjunto de câmeras e sensores monitorando estradas	26
Figura 8 - <i>City Insights Studio</i> , plataforma que apresenta as informações	27
Figura 9 - Imagem 3D gerada pelo sensor de luz	32
Figura 10 - Visão das câmeras 360°	33
Figura 11 - Radar detectando objetos à sua frente	34
Figura 12 - Compartimento do computador de bordo	34
Figura 13 - Modelo visual do Ioniq 5	36
Figura 14 - Representação visual dos sensores do veículo	40

LISTA DE SIGLAS

AVHRR	<i>Advancing Very High Resolution Radiometer</i>
CLF	<i>Continuous Learning Framework</i> ou Estrutura de aprendizado contínuo
CNES	Centro Nacional de Estudos Espaciais
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
EUA	Estados Unidos da América
FMCW	<i>Frequency-Modulated Continuous Wave</i> ou Onda Contínua de Frequência Modulada
GM	<i>General Motors</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i> ou Sistema de Posicionamento Global
HRVIR	<i>High Resolution Visible and Infra-Red</i>
IA	Inteligência Artificial
LANDSAT	<i>LAND SATellite</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
SMA	Sistema Multiagente
SPOT	<i>Systeme Probatoire d'Observation de la Terre</i>
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i> ou Veículo Utilitário Esportivo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
WD	<i>Waymo Driver</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos principais indicadores dos anuários no Brasil

SUMÁRIO

1 Introdução.....	9
2 Referencial teórico.....	10
2.1 Conceitos e Definições.....	10
2.2 Trabalhos relacionados.....	16
3 Método.....	18
4 Técnicas mais atualizadas para melhoria do tráfego urbano.....	20
4.1 Carros autônomos Waymo.....	20
4.2 Tesla Autopilot.....	23
4.3 Motional e seu ecossistema de veículos autônomos.....	24
5 Conclusão.....	25
Referências.....	26

1 Introdução

A cada ano que passa a população cresce e isso é visto de maneira mais expressiva em grandes centros urbanos. Assim, a quantidade de pessoas que utilizam veículos urbanos privados também aumenta. Sendo assim, a infraestrutura de transporte das cidades não consegue acompanhar esse crescimento na quantidade de veículos, já que tanto obras de reparo ou aprimoramento, expansão e criação de novas vias leva tempo. Essa falta de mobilidade faz com que os motoristas passem muito tempo diariamente dentro de seus veículos (DESSBESELL JUNIOR, 2015).

O trânsito se tornou um problema urbano a partir do século XX devido ao crescimento das cidades modernas. Este problema ainda traz e gera outros problemas como consequência, alguns destes seriam acidentes, barulho, congestionamento e até poluição devido aos gases emitidos. Os acidentes têm um impacto severo, que são insegurança e ameaça à vida, pois é comum acontecer situações nas quais civis tem dificuldades para atravessar a rua, outras que acabam feridas ou mortas, etc (Vasconcelos, 2022).

Engarrafamentos estão presentes na rotina das pessoas em geral. Eles surgem partindo de fatores tais como semáforos com temporizadores dessincronizados ou também devido à incapacidade que as medidas de contenção têm de evitá-los, devido ao clima e modificações repentinas das ruas (BBC, 2019).

Os constantes engarrafamentos vivenciados nos centros urbanos têm causado diversos transtornos de ordem econômica, social e ambiental à população. Dentre os aspectos relacionados à mobilidade urbana que afetam o trânsito e necessitam de melhorias, podem ser destacados os congestionamentos e, conseqüentemente, o tempo de duração das viagens. Melhorias nos sistemas de controle de tráfego têm sido propostas com o objetivo de tornar estes aspectos mais eficientes, tais como: a aplicação de heurísticas nos processos de tomada de decisão, construção de modelos de controle e utilização de lógica Fuzzy. Mesmo assim, ainda há muito a ser feito neste sentido (Dessbesell Junior, 2015).

Em 1939, na Feira Mundial que ocorreu em Nova York a *General Motors* (GM) apresentou uma proposta de modelo de veículo autônomo que era guiado por campos

eletromagnéticos gerados por pedaços de metal magnetizados distribuídos pela pista. Em 1958 a GM implantou sensores no para-choque que detectam a corrente que flui em um proposto cabeamento ao longo da pista, esta corrente seria manipulada para direcionar o veículo (Viuge e Vinhaes, 2022).

Considerando 2023, os projetos de tentar criar um modelo que fosse funcional o suficiente para ser de fato implantado, vem evoluindo junto com a tecnologia e atualmente a ciência possui uma ferramenta em ascensão que é a Inteligência Artificial (IA). A IA traz junto consigo técnicas como *machine learning*, que são capazes de resolver problemas da complexidade da direção de veículos (VIUGE e VINHAES, 2022).

Justifica-se estudar esse tema pois é importante que haja uma redução significativa nos acidentes rodoviários e dos custos relacionados, o que levará a diminuição dos custos associados aos seguros. Além disso, a tecnologia de veículos autônomos pode trazer benefícios para a sociedade em geral, como aumento da segurança, aumento da mobilidade, redução da criminalidade. É previsto que os veículos autônomos aumentem o fluxo de tráfego, proporcionando uma maior possibilidade de mobilidade para crianças, idosos, pessoas com deficiências, na medida em que os viajantes são dispensados das tarefas de condução e navegação (Novais et al., 2018).

Este trabalho visa responder a seguinte questão de pesquisa: Como a automatização de veículos através da IA pode melhorar o trânsito urbano?

O objetivo geral é realizar uma revisão bibliográfica para mostrar como a integração de IA e veículos autônomos pode melhorar o tráfego urbano, tornando as cidades mais fluidas

Os objetivos específicos são:

- Elucidar como a inteligência artificial é implementada no cenário automotivo;
- Mapear projetos que existem e estão em desenvolvimento na área de automação veicular usando IA;
- Mostrar que uma IA pode pilotar os veículos de maneira mais eficiente que os seres humanos;

Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir com:

- Esclarecer o projetista e leitores/espectadores sobre como utilizar uma tecnologia complexa, que é a Inteligência Artificial, para tratar um problema do cotidiano, como é o trânsito urbano.

- Levantar e explicitar trabalhos atuais que estão sendo realizados na área de IA e automatização de veículos, expondo suas vantagens em cima da atual realidade e mostrando como eles podem ser integrados para formarem uma solução.

Esta monografia está organizada da seguinte maneira:

O capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema do trabalho, a questão de pesquisa, objetivo e resultados esperados e a justificativa. O capítulo 2 traz o referencial teórico com conceitos e definições, além de trabalhos relacionados com o tema. No capítulo 3 é descrito o método e o passo a passo para atingir o objetivo geral. O capítulo 4 apresenta as técnicas de implementação de IA em carros autônomos que estão sendo utilizadas atualmente. No capítulo 5 é apresentada a conclusão do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

2 Referencial teórico

Este capítulo é composto de duas partes: uma de conceitos e definições e a outra de trabalhos relacionados.

2.1 Conceitos e Definições

O trabalho de Coelho (2016) explica que a Engenharia de Transportes é, diante de qualquer modo de transporte, garantir segurança, rapidez, disponibilidade e conforto para a mobilidade humana ou de mercadorias. Isso é feito através da aplicação de princípios científicos em planejamento, projeto funcional e gestão de instalações de qualquer infraestrutura necessária.

A Engenharia de Tráfego é vista então como uma ramificação com o planejamento, projeto e as operações nas estradas, ruas e rodovias, suas redes e terminais. No planejamento são determinados os padrões de locomoção, o projeto lida com os dispositivos de controle de tráfego e elementos das rodovias como por exemplo, curvatura, distância de visibilidade e canalizações. As operações analisam, revisam e aplicam ferramentas de tráfego e de dados, como também o volume destes dados e outras técnicas de elicitá-los (Coelho, 2016).

Existem predominância dos fatores humanos numa proporção de 95%, que desencadeiam o processo de acidente, mostrados na Tabela 1. “Nos EUA 90,6% dos acidentes se relacionam com falhas humanas ao dirigir, tais como: excessos de

velocidade, falha na manutenção da mão-de-direção e embriaguez.” (Goldner, 2023, p. 6).

Tabela 1 - Resumo dos principais indicadores dos anuários no Brasil

PRINCIPAIS INDICADORES	PERÍODO		
	2000	2001	2002
Vítimas fatais	20.049	20.039	18.877 ²
Vítimas não fatais	358.762 ^{**}	374.577	318.313 ²
Acidentes com vítimas	286.994 ^{**}	307.287	251876 ¹
Vítimas fatais /10000 veículos	6.8	6.3	6,2 ²
Vítimas não fatais /10000 veículos	124,1 ^{**}	119,8 ^{**}	104,6 ²
Vítimas de acidentes /10000 veículos	130.9	123.6	110,8 ²
Acidentes com vítimas /10000 veículos	99,3 ^{**}	96.2	75,8 ¹
Vítimas fatais /100 acidentes com vítimas	7 ^{**}	6,4 ^{**}	8,5 ²
Vítimas não fatais /100 acidentes com vítimas	125 ^{**}	122 ^{**}	143,2 ²
Vítimas de acidentes /acidentes com vítimas	1,3 ^{**}	1,3 ^{**}	1,5 ²
Veículos /100 habitantes	17.4	18.5	19.6
Vítimas fatais /100000 habitantes	11.8	11.6	12,3 ²
Vítimas não fatais /100000 habitantes	214,1 ^{**}	220 ^{**}	207,3 ²
Vítimas de acidentes /100000 habitantes	225,8 ^{**}	228.9	219,5 ²
Frota de veículos	29503503 ^{***}	31.913.003	34.284.967
População	169.590.693	172.385.826	174.632.960

* : Não inclui dados de Minas Gerais.

** : Não inclui dados do Distrito Federal.

*** : A redução da frota em 2000 se deve a depuração de cadastro com a integração ao Sistema RENAVAM.

¹ : Não inclui dados do Espírito Santo e Mato Grosso.

² : Não inclui dados do Amapá, Espírito Santo, Mato Grosso e Rio de Janeiro.

Fonte: Goldner (2023)

Analisando mais detalhadamente a dinâmica da circulação, vemos que a mesma apresenta uma série de conflitos que lhe são inerentes. Num primeiro nível, aparecem os conflitos físicos, de disputa pelo espaço, como no caso de dois veículos que chegam a uma interseção ao mesmo tempo. Este tipo de conflito é o mais aparente na engenharia de tráfego e o mais fácil de ser visualizado no seu dia a dia[...] (Vasconcelos, p. 3)

Os conflitos inerentes ao sistema viário urbano revelam-se como elementos fundamentais que permeiam as dinâmicas sociais e físicas da cidade. Enquanto as tensões sociais emergem das diferentes perspectivas e interesses dos cidadãos em relação à mobilidade e ao uso do espaço público, os desafios físicos surgem da limitação intrínseca de acomodar todas as demandas de movimento em um cenário urbano complexo. Estes conflitos, que se manifestam tanto como fundamentais quanto derivados, transcendem a mera infraestrutura e afetam diretamente a qualidade de vida, a acessibilidade e a harmonia ambiental da cidade, exigindo a busca constante por soluções e prioridades que atendam às demandas em constante evolução da vida urbana (Vasconcelos, 2023).

O envelhecimento da população exige uma reavaliação profunda da mobilidade urbana, com foco na promoção da autonomia, segurança e qualidade de vida dos idosos. À medida que o corpo humano revela os sinais do tempo, tornando órgãos essenciais menos eficientes, as limitações físicas se acentuam, tornando os idosos particularmente vulneráveis no cenário do trânsito urbano. Para garantir uma mobilidade urbana inclusiva e equitativa, é imperativo priorizar a acessibilidade do ambiente urbano, minimizando o esforço físico e facilitando o deslocamento das pessoas com mobilidade reduzida, incluindo os idosos. A proteção dos pedestres idosos é uma responsabilidade coletiva, cuja importância é evidenciada pelos números alarmantes de acidentes envolvendo essa população, tornando-os o grupo mais vulnerável nas vias urbanas. A promoção da mobilidade segura para os idosos é um passo crucial em direção a uma cidade mais inclusiva e habitável para todas as gerações (Micheletto, 2011).

A ciência há muito tempo investe esforços em uma temática em que ela tenta criar uma espécie de 'cérebro eletrônico', parecido aos nossos cérebros, para serem capazes de se comunicar conosco. Também chamado de IA, este é um projeto em que cientistas de várias partes do mundo dedicam muito tempo para desenvolvê-lo. Sua complexidade é tamanha, que se utiliza de várias áreas do conhecimento humano, tais como a área linguística, psicológica, filosófica, computacional, etc (Teixeira, 2022).

“Em termos mais simples, IA, que significa inteligência artificial, refere-se a sistemas ou máquinas que imitam a inteligência humana para realizar tarefas e podem se aprimorar iterativamente com base nas informações que coletam” (Oracle, 2022).

Um sistema IA não é capaz somente de armazenamento e manipulação de dados, mas também da aquisição, representação, e manipulação de conhecimento. Esta manipulação inclui a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos - novas relações sobre fatos e conceitos - a partir do conhecimento existente e utilizar métodos de representação e manipulação para resolver problemas complexos que são frequentemente não-quantitativos por natureza. Uma das idéias mais úteis que emergiram das pesquisas em IA, é que fatos e regras - conhecimento declarativo - podem ser representados separadamente dos algoritmos de decisão - conhecimento procedimental. Isto teve um efeito profundo tanto na maneira dos cientistas abordarem os problemas, quanto nas técnicas de engenharia utilizadas para produzir sistemas inteligentes (Direne, 2022).

IA é dividida em áreas, e assim surgem os conceitos de *machine learning* e *Deep Learning*. *Machine Learning*, como o próprio nome já sugere, é o processo de aprendizado contínuo de máquina. Consiste basicamente em fornecer dados de entrada e assim a máquina pode aprender com esses dados e elaborar saídas que solucionem um problema. Algoritmos de *machine learning* são estruturados com equações pré-definidas para organizar e executar os dados conforme sua necessidade. “*Deep Learning* é um tipo de *Machine Learning* que capacita a máquina a realizar tarefas mais complexas, como reconhecimento de fala, identificação de imagens e realizar previsões.”(Damaceno e Vasconcelos)

Monard e Baranauskas(2003) explicam que a aprendizagem de máquina é uma ferramenta poderosa para a aquisição automática de conhecimento, no entanto, não existe um único algoritmo que apresente o melhor desempenho para todos os problemas. É crucial compreender tanto o poder quanto as limitações dos diversos algoritmos de aprendizado de máquina, avaliando os conceitos induzidos por eles em situações específicas.

A indução, que é a base da aprendizagem de máquina, envolve a inferência lógica para obter conclusões gerais a partir de exemplos específicos. A inferência indutiva é um método fundamental para derivar conhecimento novo e prever eventos futuros. No entanto, a inferência indutiva deve ser utilizada com cautela, pois a qualidade das hipóteses obtidas depende da quantidade e qualidade dos exemplos de treinamento.

O aprendizado indutivo pode ser dividido em supervisionado e não-supervisionado, dependendo se rótulos de classe são fornecidos nos exemplos de treinamento. A

aprendizagem supervisionada visa construir classificadores capazes de determinar a classe de novos exemplos não rotulados, enquanto a aprendizagem não supervisionada busca agrupar exemplos em clusters.

O processo de classificação é iterativo e pode ser guiado pelo conhecimento de domínio, ajustando atributos, exemplos e parâmetros do processo de indução.

Diversos paradigmas de aprendizado de máquina, como simbólico, estatístico, baseado em exemplos, conexionista e genético, oferecem diferentes abordagens para a construção de modelos. Cada paradigma de aprendizado de máquina tem suas características distintas, desde a construção de representações simbólicas até a modelagem estatística e a seleção de classificadores genéticos.

Atualmente, os volumes de dados gerados são tão vastos que tornam inviável o uso da tradicional programação computacional baseada em regras definidas a priori. A vantagem dos sistemas de aprendizado de máquinas é a capacidade de estabelecer algoritmos automaticamente, adaptando-se de maneira dinâmica e autônoma às demandas das tarefas. Como observado por um renomado pesquisador, 'Para muitas aplicações não fomos capazes de criar algoritmos apropriados, apesar de décadas de pesquisa desde os anos 1950. O aprendizado de máquinas agora é a força motriz da Inteligência Artificial' (Kaufman, 2018a).

Como dito no trabalho de Kaufman (2018b), o *Deep Learning* é capaz de transformar um grande volume de dados em informação útil, também está relacionada a usar essas informações para estimar previsões. Seus efeitos são vistos em cenários como, quando se faz uma pesquisa no Google, as respostas e anúncios que aparecem são escolhidas no que o sistema acha que mais se encaixa no perfil do usuário, plataformas de *streaming* (tecnologia e método de entrega de conteúdo digital pela Internet, permitindo que os usuários acessem e consumam mídia, como vídeo, áudio, jogos e outros tipos de conteúdo, em tempo real) também fazem as sugestões de livros, filmes, etc. usando a mesma lógica.

Criado na década de 80, cientistas criaram o *Deep Learning* como um subcampo de *Machine Learning* e propuseram o método de aprendizagem através de redes neurais, já que elas atendem a diversos tipos de problemas. Ele segue os princípios do *Machine Learning*, é treinado por um método no qual se mostram exemplos e ajusta os parâmetros da rede até que o resultado atinja as expectativas.

O treinamento consiste em mostrar exemplos e ajustar gradualmente os parâmetros da rede até obter os resultados requeridos, denominado

“aprendizagem supervisionada”: são fornecidos os resultados desejados (*output*) e, por “tentativa e erro” chega-se ao resultado.(Kaufman 2018a, p. 5)

A avaliação do movimento de veículos depende de 3 elementos que o tempo todo se alteram no tráfego, que são: o fluxo, velocidade e a densidade dos veículos. O fluxo é a taxa em que trafegam veículos por uma certa área da rodovia em um determinado período de tempo (Coelho, 2016).

Coelho (2016) define Mobilidade Sustentável como sendo a capacidade de satisfazer a necessidade que a sociedade tem de deslocar-se livremente sem sacrificar valores humanos e ecológicos.

Os veículos autônomos utilizam diversos recursos tecnológicos para lidar com o ambiente, tais como radares, *Global Positioning System* (GPS), visão por computador e odometria (técnica usada para medir a distância percorrida) (Novais et al., 2018).

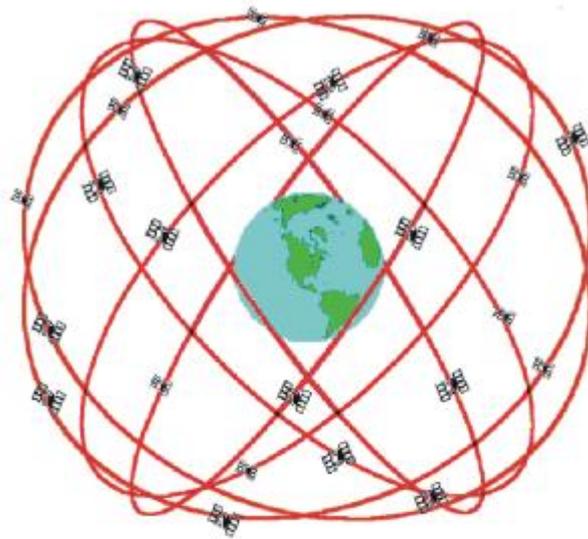
O GPS é um sistema de navegação por satélite que informa ao seu receptor a sua posição na Terra;

Em 1958 os americanos lançaram o satélite Vanguard tendo assim o início do desenvolvimento do sistema Navstar (*Navigation satellite with Timing and Ranging*). A partir de 1967 foi liberado para uso civil, o sistema denominado *Navy Navigation Satellite System* (NNSS) também chamado de *Transit*. Em 1973 iniciou-se o desenvolvimento do *Global Positioning System* (GPS), projetado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA) para oferecer a posição instantânea, bem como a velocidade e o horário de um ponto qualquer sobre a superfície terrestre ou bem próxima a ela em um referencial tridimensional (Bernardi e Landin, 2002, p. 2)

A explicação sobre GPS foi retirada de Alves (2006) .Em questão de maquinário, o GPS consiste num arranjo de 24 satélites orbitando a Terra a mais de 20000 quilômetros de altura. A princípio foi criado para servir em fins militares, assim os navios e aeronaves podiam determinar sua posição exata a qualquer momento, também auxiliou no lançamento de mísseis e determinar a localização de tropas terrestres.

Todos esses satélites são distribuídos por igual em 6 órbitas estáveis, mostrados na Figura 1, eles percorrem uma órbita completa a cada 12 horas e cada um tem um campo de visualização sobre a Terra de 28°. Isso assegura que todo ponto da superfície terrestre, em qualquer instante, esteja visualizado por pelo menos quatro satélites.

Figura 1 - Planos orbitais dos satélites da constelação GPS



Bloco de 24 (+4) satélites
6 Planos Orbitais
Altitude Média de 20.200 km
Inclinação Orbital de 55° (Equador)
Período de 11h57'58.3" (tempo sideral)

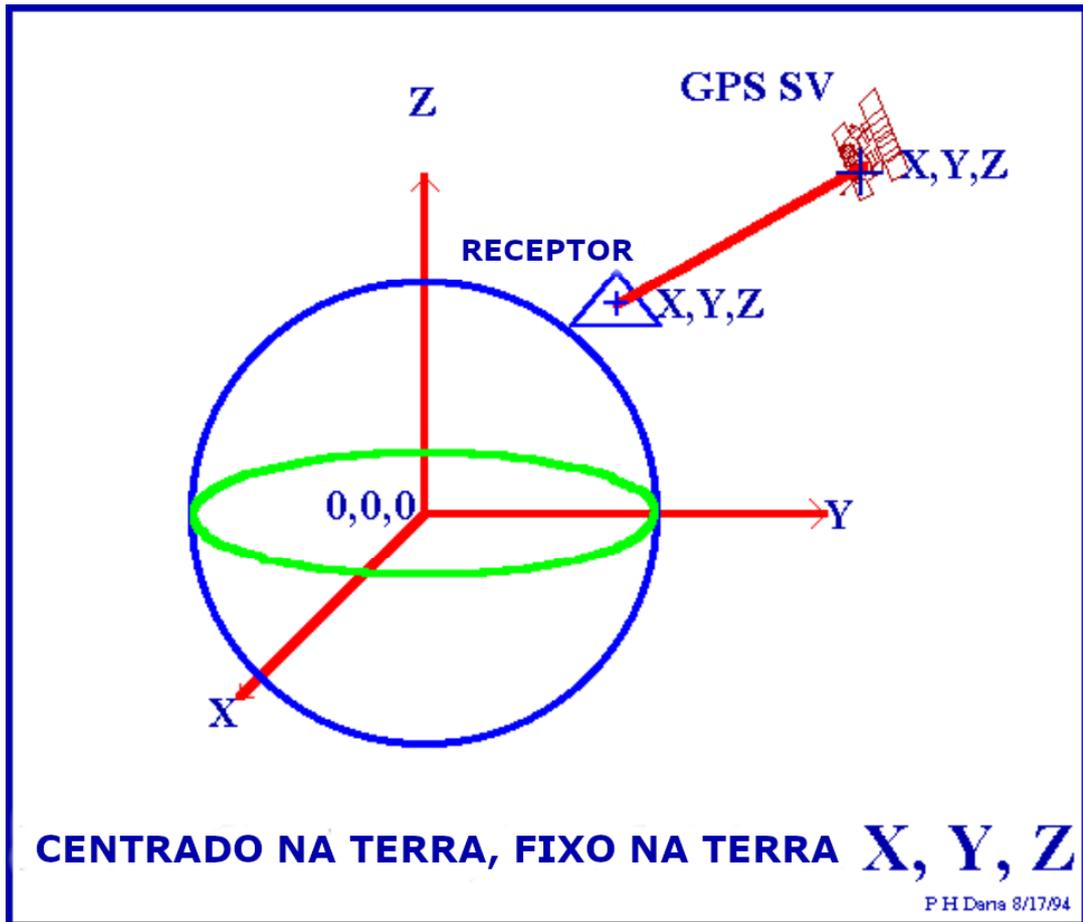
Fonte: Bernardi e Landin (2002)

Todos os satélites são controlados pelas estações terrestres de gerenciamento. Existe uma “estação master”, localizada no Colorado (Estados Unidos), que, com o auxílio de cinco estações de gerenciamento espalhadas pelo planeta, monitora o desempenho total do sistema, corrigindo as posições dos satélites e reprogramando o sistema com o padrão necessário.(Alves, 2006, p. 2)

Para calcular a posição de um ponto na superfície terrestre, os satélites do GPS emitem um sinal que é captado por receptores que por sua vez mede a diferença entre o tempo que foi recebido e o tempo que foi emitido. Essa diferença, não mais do que um décimo de segundo, permite que o receptor calcule a distância ao satélite emissor.

Com essa informação é determinada a posição de um ponto em uma superfície imaginária esférica em que o satélite é o centro. Cada satélite emite um sinal que informa sua posição baseada em uma convenção globalmente aceita de um sistema ortogonal ortogonal de coordenadas cartesianas X, Y e Z em relação ao centro de massa da Terra, ilustrado na Figura 2. Essa posição é constantemente rastreada pelas estações terrestres de gerenciamento. O receptor processa esses sinais. Com a posição do satélite e a distância acima calculada obtém-se a chamada equação geral da imaginária superfície esférica.

Figura 2 - Posicionamento GPS baseado no centro de massa da Terra



Adaptado de: Bernardi e Landin (2002)

Coletando-se sinais obtidos por quatro satélites, o receptor determina a posição do usuário calculando-a como intersecção das quatro superfícies esféricas obtidas. A localização é dada, não em coordenadas cartesianas, mas por meio das coordenadas geográficas (latitude, longitude e elevação). (Alves, p. 3, 2006)

Conforme abordado por Zanotta et al (2011), a principal fonte de erro associada à aquisição das coordenadas de um ponto a partir do GPS reside no não-sincronismo da marcha do relógio do receptor com a do relógio dos satélites, doravante denominado apenas erro do relógio do receptor. Os valores de tempo fornecidos pelo relógio do aparelho devem ter uma precisão compatível com a ordem de grandeza da velocidade da luz para que os dados sejam eficazes. Conforme destacado pelo autor, existe apenas um tipo de relógio capaz de retornar valores tão precisos: os relógios atômicos. No entanto, o tamanho e o alto custo destes relógios fazem com que seu uso nos receptores seja inviável, sendo apenas empregados nos satélites. Isso faz com que o relógio do receptor não esteja precisamente sincronizado com o relógio dos satélites,

provocando assim um erro na medição da distância satélite-receptor. Ademais, o autor ressalta que o desenvolvimento dos relógios atômicos, oriundos de pesquisas básicas sobre a estrutura atômica, foi fundamental para a existência do GPS, tornando possível seu funcionamento. Esta pesquisa possibilitou a existência de um relógio suficientemente preciso para o estudo da natureza do tempo, com implicações significativas nos sistemas de navegação modernos, como os utilizados em aeronaves, onde a relatividade é essencial para a precisão das coordenadas de posição e velocidade.

Conforme abordado por Figueiredo (2005), os satélites, embora demandem grandes investimentos e muita energia nos seus lançamentos, orbitam em torno da Terra por vários anos. Durante sua operação em órbita o consumo de energia é mínimo, pois são mantidos a grandes altitudes onde não existe resistência do ar e a pequena força gravitacional terrestre é equilibrada pela força centrífuga do movimento orbital do satélite. Estes aparatos espaciais executam um processo contínuo de tomadas de imagens da superfície terrestre coletadas 24 h/dia, durante toda a vida útil dos satélites.

A evolução de quatro segmentos tecnológicos principais determinou o processo evolutivo do sensoriamento remoto por satélites:

- Sensores – são os instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens, cuja evolução tem contribuído para a coleta de imagens de melhor qualidade e de maior poder de definição.
- Sistema de telemetria – consiste no sistema de transmissão de dados e imagens dos satélites para estações terrestres, e tem evoluído no sentido de aumentar a capacidade de transmissão dos grandes volumes de dados, que constituem as imagens.
- Sistemas de processamento – consistem dos equipamentos computacionais e softwares destinados ao armazenamento e processamento dos dados do sensoriamento remoto. A evolução deste segmento tem incrementado a capacidade de manutenção de acervos e as potencialidades do tratamento digital das imagens.
- Lançadores – consistem das bases de lançamento e foguetes que transportam e colocam em órbita, os satélites. A evolução deste segmento tem permitido colocar, em órbitas terrestres, satélites mais pesados, com maior quantidade de instrumentos, e conseqüentemente, com mais recursos tecnológicos.

Na verdade, a evolução do sensoriamento remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços na física, na físico-química, na química, nas biociências e geociências, na computação, na mecânica, etc. Nos dias atuais, o sensoriamento remoto é quase que totalmente alimentado por imagens obtidas por meio da tecnologia dos satélites orbitais.

Existem várias séries de satélites de sensoriamento remoto em operação, dentre eles podem ser citados: LANDSAT, SPOT e NOAA. LANDSAT e SPOT são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto que os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas são também utilizados no sensoriamento remoto.

O sistema *LAND SATellite* (LANDSAT) foi o primeiro a obter, de forma sistemática, imagens terrestres sinópticas de média resolução. Desenvolvida pela NASA, a série de satélites LANDSAT iniciou sua operação em 1972. Os primeiros satélites eram equipados com os sensores *Multispectral Scanner System* (MSS). Esses sensores tinham a capacidade de coletar imagens separadas em bandas espectrais em formato digital, cobrindo a cada imagem uma área de 185 km x 185 km, com repetição a cada 18 dias. A série passou por inúmeras inovações, especialmente os sistemas sensores que atualmente obtêm imagens em 7 bandas espectrais. O último da série, o LANDSAT 7, é equipado com os sensores *Enhanced Thematic Mapper* (ETM) e Pancromático. O termo Pancromático significa uma banda mais larga que incorpora as faixas espectrais mais estreitas, por esta razão a quantidade de energia da banda Pancromática chega ao satélite com maior intensidade e isto possibilita ao sensor uma definição melhor. O Pancromático do LANDSAT chega a uma resolução espacial de 15 m. Os satélites desta série deslocam a uma altitude de 705 km, em órbita geocêntrica circular, quase polar e heliosíncrona, isto é, cruzam um mesmo paralelo terrestre sempre no mesmo horário. No período diurno o LANDSAT cruza o equador às 9:50 h. Ao longo da história do SR até o ano de 2004, a série LANDSAT foi a que mais produziu e forneceu imagens para todos os tipos de estudos e aplicações.

O sistema *Systeme Probatoire d'Observation de la Terre* (SPOT) foi planejado pelo governo francês em 1978, com a participação da Suécia e Bélgica, e gerenciado pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES), entidade responsável pelo desenvolvimento do programa e operação dos satélites. O SPOT-1 foi lançado em

fevereiro de 1986, o SPOT-2 em 1989 e o SPOT-3 em 1993, todos com características semelhantes. O SPOT-4, lançado em 1998, incorpora mais um canal no modo multiespectral e um novo sensor para monitoramento da vegetação. As características básicas do sistema SPOT são: Altitude 832 km; velocidade 13,3 km / s; área coberta por cena 60 km x 60 km; peso 1870 kg; dimensões 2 m x 2 m x 4,5 m; taxa de transmissão de dados 50 Mbits / s; passagem diurna em órbita descendente às 10:30 h. O sistema sensor do SPOT, High Resolution Visible and *Infra-Red* (HRVIR) capta imagens em 4 faixas espectrais com resolução de 20 m e uma banda Pancromática com resolução de 10 m. O sensor de vegetação tem resolução de 1.165 m. Uma característica interessante do SPOT é possibilitar o imageamento fora do nadir (o termo nadir é utilizado para definir a perpendicular à superfície terrestre a partir do satélite). O instrumento sensor pode ser direcionado para os dois lados (leste e oeste), de 0° a 27°, permitindo a obtenção de imagens dentro de uma faixa de 950 km de largura, centrada no plano da órbita do satélite. Esta técnica, conhecida como visada lateral, permite uma rápida capacidade de revisita em áreas específicas. Próximo ao equador, uma mesma área pode ser observada, em média, a cada 3,7 dias. Este recurso, por demandar tarefas operacionais adicionais, tem custo relativamente alto.

Os satélites meteorológicos da série *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) orbitam a uma altitude de 840 km e coletam dados atmosféricos globais, especialmente sobre as regiões polares e são também heliosíncronos. Operam em órbita circular, quase polar, cujo plano orbital faz um ângulo de aproximadamente 9° com o eixo terrestre e período orbital em torno de 102 minutos. Existem sempre 2 satélites NOAA em operação que atuam de forma complementar, um passa no início da madrugada e no início da tarde, enquanto o outro passa no início da manhã e no início da noite. Portanto, a captura das imagens é realizada a cada seis horas. Em 1999 estavam em operação os satélites NOAA-14 e NOAA-15. O sistema sensor de captura de imagem do NOAA é o *Advancing Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). O AVHRR e demais sensores do NOAA destinam-se principalmente a estudos globais relacionados a: cobertura vegetal; discriminação e distribuição de nuvens; separação terra-água; avaliação da extensão da cobertura de neve e gelo; determinação das temperaturas superficiais dos mares e oceanos; levantamento do perfil vertical da temperatura da atmosfera, conteúdo de vapor de água na atmosfera; conteúdo de ozônio; medição do fluxo de partículas provindas do Sol e incidentes na superfície terrestre.

Marengoni e Stringhini (2010) afirmam que a fronteira entre o processamento de imagens e a visão computacional não é clara. O processamento de imagens envolve a transformação de uma imagem de entrada em um conjunto de valores numéricos, enquanto a visão computacional busca emular a interpretação humana da imagem como um todo ou parcialmente.

O espectro que vai do processamento de imagens até a visão computacional pode ser dividido em três níveis: baixo-nível, nível-médio e alto-nível. Esses níveis representam operações que variam de tarefas primitivas, como redução de ruído e melhoria de contraste, a operações mais complexas, como segmentação e classificação de objetos na imagem.

É importante ressaltar que os processos de visão computacional frequentemente requerem uma etapa de pré-processamento, que envolve o processamento de imagens. Isso pode incluir a conversão da imagem para um formato específico, ajustes de tamanho e a aplicação de filtros para eliminar ruídos decorrentes do processo de aquisição da imagem.

Os ruídos em imagens podem originar-se de várias fontes, como o tipo de sensor utilizado, as condições de iluminação, o clima durante a aquisição da imagem e a relação espacial entre o objeto de interesse e a câmera. Esses ruídos não afetam apenas o sinal de captura da imagem, mas também podem interferir na interpretação e no reconhecimento de objetos na imagem.

Os processos de baixo-nível, como a redução de ruído e melhoria no contraste de uma imagem, caracterizam a etapa de processamento de imagens, que é a base para as tarefas de nível-médio e alto-nível.

Segmentação é um processo de nível-médio fundamental na visão computacional, envolvendo a partição da imagem em regiões ou objetos distintos. O nível de detalhamento na segmentação depende da tarefa e da resolução da imagem, destacando a importância de adaptar os métodos de segmentação com base nas características da imagem e nos objetivos da análise.

A segmentação por detecção de borda é uma abordagem comum, identificando variações abruptas na intensidade dos pixels para definir bordas. Isso é alcançado por meio de máscaras que caracterizam essas variações, permitindo a identificação de bordas ou contornos na imagem.

Outra técnica de segmentação é o corte, que se baseia nos valores de intensidade e propriedades dos pixels. Essa abordagem é computacionalmente

eficiente e intuitiva, pois utiliza informações do histograma da imagem para determinar o número de regiões e segmentar a imagem com base nessa informação.

A segmentação baseada em crescimento de região é uma técnica que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores com base em critérios de crescimento predefinidos. Esse processo é iniciado a partir de sementes e considera propriedades como cor, intensidade, textura e momentos para determinar a inclusão de pixels em uma região.

A visão computacional consiste em interpretar imagens e vídeos para extrair dados que sejam relevantes para que uma outra aplicação possa usá-las. Um exemplo seria a tomada de decisão (Salles, 2023).

Milano e Honorato (2010) apresentam uma definição para Visão Computacional. Afirmam ser a ciência que permite o computador enxergar o ambiente ao seu redor. Humanos interpretam o ambiente através dos olhos, ouvidos e nariz, por exemplo. Já um computador utiliza dispositivos tais como câmeras, sensores, scanners, etc. Embora não exista um padrão de implementação de aplicações, já que cada uma necessita de conhecimento específico para cada problema, as características básicas dos sistemas de visão computacional envolvem reconhecimento de objetos tais como imagens. A partir delas extrai as informações que serão usadas na aplicação.

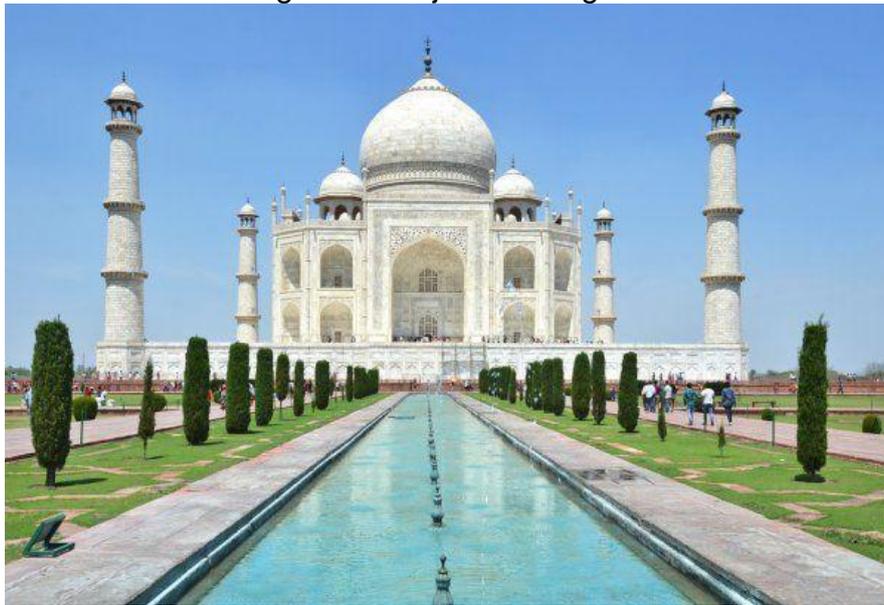
As funcionalidades mais comuns citadas por Milano e Honorato(2010) são:

- **Aquisição de Imagem:** É o primeiro passo para um sistema de visão computacional. Trata-se do processo de aquisição de uma imagem ou de um conjunto de imagens a partir de sensores de câmeras, nas quais os pixels de cada imagem obtida indicam coordenadas de luz e propriedades físicas. A imagem pode ser bidimensional, tridimensional ou uma sequência de imagens.
- **Pré-processamento:** Processo realizado antes de obter informações de uma imagem, de forma a aplicar métodos específicos que facilitem a identificação de um objeto, como por exemplo destaque de contornos, bordas, destaque de figuras geométricas, etc.
- **Extração de características:** Extração de características matemáticas que compõem uma imagem, como textura, bordas, formatos, movimento.
- **Detecção e segmentação:** Processo realizado para destacar regiões relevantes da imagem, segmentando as mesmas para processamento posterior.

- Processamento de alto nível: Processo que inclui validação da satisfação dos dados obtidos, estimativa de parâmetros sobre a imagem e classificação dos objetos obtidos em diferentes categorias.

Nas Figuras 3 e 4 são mostradas como as imagens ficam quando passam pelas etapas mencionadas por Milano e Honorato (2010). A imagem 1 é a imagem original que será analisada pelo computador, já na 2 mostra como é a imagem interpretada nas etapas de Pré-processamento e Detecção e Segmentação.

Figura 3 - Taj Mahal original



Fonte: Salles (2023).

Figura 4 - Taj Mahal pós processado pela Visão Computacional



Fonte: Salles (2023)

A Figura 3 mostra uma Visão Computacional interpretando elementos de um cenário real. Nela é mostrado uma etapa posterior daquelas que são mostradas na Figura 2, o Processamento de alto nível. Na imagem 3 os dados já foram processados e o computador classificou todos os diferentes objetos que ele encontrou (Milano e Honorato, 2010).

Figura 5 - Visão Computacional interpretando elementos de um cenário urbano real



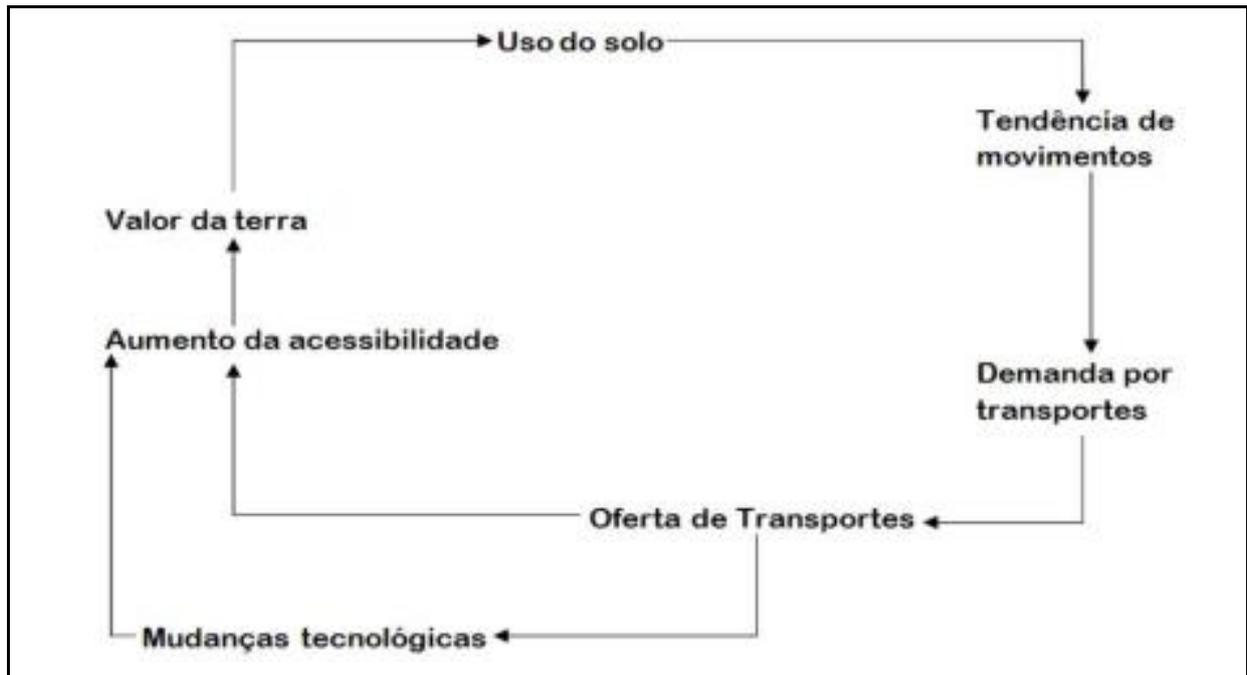
Fonte: Salles (2023)

Com a suposta circulação de tais veículos não tripulados, também ganha relevância um outro projeto que pode ser visto como um complemento necessário, nas quais as IAs além de serem responsáveis pela condução do veículo, também seriam usadas em um sistema de monitoramento de vagas disponíveis pela cidade para estacionar os automóveis (Réos et al., 2019).

Um conceito para um Plano de Mobilidade Sustentável apresentado no trabalho de Coelho (2016) é: “[...]documento que define uma visão estratégica sobre o que se quer para uma determinada região, estabelecendo princípios, diretrizes e ações concretas[...]”.

Uma cidade deve ser planejada para que os tempos de viagem das pessoas sejam os menores possíveis e que percorrem a menor distância. O planejamento e o uso do solo afetam a mobilidade neste território. A Figura 4 apresenta um fluxograma sobre o ciclo de transportes e uso do solo (Coelho, 2016).

Figura 6 - O ciclo de transportes e uso do solo



Fonte: Coelho (2016)

Existem algumas opções de uso dos automóveis visando utilização sustentável, essas são (Coelho, 2016):

- *Car-sharing*: É um sistema em que as pessoas têm acesso a um automóvel por um determinado período de tempo. Os usuários podem usufruir das vantagens da utilização do carro, flexibilidade temporal e espacial, privacidade e conforto, sem os custos de aquisição, depreciação e manutenção do mesmo.
- *Car-pooling*: também designado de sistema de "carona organizada", ou "carona solidária", consiste em juntar várias pessoas num só automóvel, pertencente a uma das pessoas. Este sistema permite reduzir o número de automóveis, diminuindo por consequência o tráfego e a poluição. Pode, ainda, ser organizado através de grupos ou sites especializados na Internet.
- *Eco-condução*: Consiste numa forma de condução mais eficiente, que permite reduzir o consumo de combustível e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito de estufa, podendo reduzir o consumo em até 25%.

2.2 Trabalhos relacionados

Em BBC (2019) foi investigado a possibilidade de aplicação da inteligência artificial no gerenciamento do tráfego urbano como forma de reduzir os engarrafamentos nas grandes cidades. Para isso, foram analisados dados e estudos sobre a utilização de tecnologias de inteligência artificial em sistemas de transporte público, bem como em soluções de gerenciamento de tráfego baseadas em dados em tempo real, que utilizam das câmeras de segurança que estão espalhadas pelas vias. Os resultados desta pesquisa sugerem que a IA pode ser uma ferramenta promissora para o gerenciamento do tráfego urbano, podendo contribuir para a redução dos engarrafamentos e dos impactos ambientais associados.

Além disso, a análise de dados em tempo real pode permitir uma gestão mais eficiente dos recursos de transporte público, melhorando a qualidade de vida dos usuários. No entanto, é necessário avaliar cuidadosamente os aspectos éticos e sociais dessa tecnologia, bem como os desafios técnicos e de infraestrutura necessários para sua implementação em larga escala. Portanto, mais pesquisas são necessárias para entender melhor o potencial da inteligência artificial no gerenciamento do tráfego urbano e seus possíveis impactos na sociedade.

A Figura 5 apresenta um conjunto de uma câmera com um sensor monitorando uma determinada estrada. Esse conjunto é usado pelo protótipo mencionado pela *BBC News Brasil* (BBC, 2019). Os dados capturados são usados para manipular a cadência dos semáforos, baseando-se na densidade do tráfego que foi determinado pelos algoritmos desse protótipo.

Figura 7 - Conjunto de câmeras e sensores monitorando estradas



Fonte: BBC(2019)

Em Ceccon (2019) foi feito um estudo sobre a plataforma de inteligência artificial "*City Insights*", desenvolvida pela Ford, que tem como objetivo auxiliar no gerenciamento da mobilidade urbana nas cidades. Para isso, foram avaliados os recursos e funcionalidades da plataforma, bem como seus impactos na gestão da mobilidade urbana e na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

Os resultados da pesquisa sugerem que a plataforma "*City Insights*" pode ser uma ferramenta útil para a gestão da mobilidade urbana, permitindo que as autoridades municipais tomem decisões baseadas em dados em tempo real. Além disso, a plataforma pode contribuir para a redução dos engarrafamentos, melhoria do transporte público e redução da poluição do ar. No entanto, é necessário que as autoridades municipais e os desenvolvedores da plataforma trabalhem juntos para garantir a privacidade e segurança dos dados dos cidadãos, bem como para garantir que a plataforma seja acessível e inclusiva para todos (Ceccon, 2019).

Portanto, a plataforma "*City Insights*" pode ser uma solução promissora para o gerenciamento da mobilidade urbana, mas é importante que ela seja utilizada de forma ética e responsável, levando em consideração as necessidades e expectativas dos cidadãos e trabalhando em conjunto com as autoridades municipais e os usuários. Mais pesquisas são necessárias para entender melhor o potencial e os

limites dessa tecnologia e para garantir que ela seja utilizada de forma justa (Ceccon, 2019).

A Figura 6 mostra como os dados são apresentados através do *City Insights Studio*. O objetivo é para que os planejadores possam interpretar os dados de uma maneira mais fácil e prática. Ele mostra a grade de trânsito e todas as informações que nele aparecem, são em tempo real. Exibição através de imagens é mais intuitivo do que por exemplo representar a mesma grande quantidade de dados através de uma tabela ou gráficos.

Figura 8 - *City Insights Studio*, plataforma que apresenta as informações



Fonte: Ceccon (2019)

Dessbessell Junior (2015), em seu estudo, verifica, por meio de uma simulação em Sistema Multiagente(SMA), uma forma de tornar mais eficiente o fluxo de veículos em centros urbanos, utilizando técnicas de IA, para a coordenação e melhoria de desempenho das políticas de gerenciamento de tráfego. Assim, busca reduzir os efeitos negativos, sendo eles sociais, econômicos e ambientais, causados, principalmente, pelos congestionamentos. Seus resultados mostraram a redução do tempo das viagens e dos congestionamentos e, também o menor tempo dos motores dos veículos em operação. Este trabalho criou uma base para que outros trabalhos sejam desenvolvidos, pois aprofundou as pesquisas e desenvolveu novos mecanismos de controle.

Fagundes (2019) mostra como a IA pode ser aplicada na mobilidade humana, possibilitando a criação de sistemas mais eficientes e seguros. Através do uso de algoritmos de aprendizado de máquina e *big data*, é possível coletar e analisar dados em tempo real, identificar padrões de comportamento dos usuários e prever possíveis problemas de tráfego. Com isso, é possível desenvolver soluções personalizadas e adaptáveis às necessidades de cada indivíduo, promovendo uma mobilidade mais eficiente, sustentável e inclusiva. Ele conclui que a aplicação da IA na mobilidade humana pode trazer diversos benefícios, tais como a redução de acidentes, a otimização do tempo de deslocamento e a melhoria da qualidade de vida dos usuários. Além disso, a IA pode contribuir para a criação de cidades mais inteligentes e conectadas, capazes de se adaptar às demandas dos usuários e garantir uma mobilidade mais eficiente e sustentável para todos (Fagundes, 2019).

Alves Junior (2021) afirma em seu trabalho que a importância da tecnologia na transição da passagem de Estado-Nação para os Estados-Região, destacando os quatro 'is': *investment, industry, information technology e individual consumers*, no qual tecnologia desempenha um papel crucial em todo esse processo. A revolução tecnológica no final do século XX acelerou o processo de globalização, levando-o ao patamar atual.

Na gestão do trânsito e na melhoria da mobilidade urbana, vários recursos tecnológicos desempenham um papel fundamental, como semáforos, câmeras e radares de velocidade, contribuindo para a organização e segurança do trânsito. O sistema 'Sem Parar' ou 'Via Fácil' nas rodovias com pedágio é um exemplo de tecnologia que permite uma passagem mais eficiente nas praças de pedágio, reduzindo a necessidade de parar o veículo e melhorando o fluxo do trânsito.

A evolução tecnológica tem transformado a relação entre o ser humano e a natureza, tornando o uso de tecnologias menos poluentes essencial para a preservação do meio ambiente natural e aprimoramento do meio ambiente artificial. A tecnologia na mobilidade urbana traz inúmeras vantagens, incluindo veículos mais ecológicos, ultracompactos que facilitam o estacionamento e reduzem o volume de automóveis nas vias, carros com sistemas de biometria para prevenir crimes e veículos autônomos para eliminar acidentes. As novas tecnologias, como o '*Smart crosswalk*' (travessia inteligente), a '*heated roads*' (estradas aquecidas) e o '*permeable paving*' (pavimento permeável), estão revolucionando a forma como

enfrentamos desafios no trânsito e na infraestrutura das estradas, proporcionando maior segurança e eficiência.

Galli (2012) afirma que a era da informação ainda enfrenta desafios persistentes, que consomem um precioso recurso nos dias modernos, tanto para indivíduos quanto para empresas e têm um alto custo em termos de análise de produtividade e bem-estar. Em um mundo globalizado, o trânsito é amplamente considerado um problema de difícil resolução. Métodos antiquados, que exercem um grande impacto na vida das pessoas, ainda predominam na determinação de quando parar, ter atenção ou avançar nas vias, com a peça fundamental para regular esse fluxo sendo o semáforo. Desde a sua invenção, esse método é amplamente adotado em praticamente todos os países, controlando avanços e paradas nas principais vias urbanas em minutos ou segundos.

Uma solução simples e comprovadamente eficaz é a aplicação de inteligência artificial a esses dispositivos eletrônicos, que seguem uma programação temporal. A integração dessa inteligência artificial com um banco de dados e a utilização da tecnologia Identificação por Rádio Frequência (RFID) permitem a geração de informações valiosas no contexto deste estudo. O resultado é claro: elimina-se o tempo desperdiçado em semáforos que permanecem com o sinal verde, mesmo quando não há veículos na via, devido à programação de tempo. Isso resulta na espera desnecessária de veículos em outras vias.

Ao utilizar a inteligência artificial em conjunto com a tecnologia RFID, é possível obter informações precisas e relevantes que permitem uma regulamentação mais eficaz dos semáforos, determinando quando permanecer abertos, fechados ou priorizar a via mais congestionada. Esse método proporciona maior conforto aos motoristas e pedestres, reduz o tempo perdido, aumenta a produtividade e contribui para o bem-estar. Além disso, essa tecnologia pode ser utilizada para obter informações úteis sobre veículos inadimplentes, veículos roubados, localização de veículos para redução de custos com seguros e uma variedade de outros dados valiosos.

3 Método

Esta pesquisa segundo sua natureza e de acordo com Wazlawick(2014), é um resumo de assunto, que busca solidificar o conhecimento do projetista neste determinado assunto, elucidando bastante como este vem sendo desenvolvido ao longo dos anos e os problemas que ainda estão em aberto. “[...]resumos de assunto

buscam apenas sistematizar uma área de conhecimento, usualmente indicando sua evolução histórica e estado da arte.”(Wazlawick, p. 21, cap. 4.1).

De acordo com Wazlawick(2014) quanto aos objetivos é uma pesquisa exploratória, nos quais serão explorados fatores e variáveis que fazem parte do contexto do tema, elas serão um acréscimo à elaboração da pesquisa.

Segundo procedimentos técnicos esta pesquisa é bibliográfica e documental.

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho dessa natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas. Boa parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisas bibliográficas. As pesquisas sobre ideologias, bem como aquelas que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema, também costumam ser desenvolvidas quase exclusivamente mediante fontes bibliográficas (Gil, 2010, p. 44).

A pesquisa documental assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A diferença essencial entre ambas está na natureza das fontes, enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não recebem ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetos da pesquisa. (Gil, 2010, p. 45).

A pesquisa bibliográfica consiste em estudar artigos, teses, livros e outras publicações já disponibilizadas (Wazlawick, 2010).Os passos que foram aplicados são os seguintes:

- Foi escolhido o tema: Melhoria do trânsito urbano usando automatização de veículos através da inteligência artificial
- Foram buscados materiais relacionados com o projeto de pesquisa em repositórios de universidades, periódicos e portais de publicação de matérias já bem consolidados
- Foi realizado o fichamento dos materiais bibliográficos que serão úteis nesta etapa, eles ajudam quando se tem um grande número de documentos para gerenciar, nesses casos, é impossível se lembrar do conteúdo de cada material detalhadamente, por isso o fichamento auxilia a identificar qual o melhor documento a ser consultado em determinada situação

- Utilizando o conhecimento adquirido, fazer a formulação do problema: Como a automatização de veículos através da IA pode melhorar o trânsito urbano?
- Foi buscado conhecimento em livros, trabalhos e publicações científicas, sites e repositórios acadêmicos, contando que sejam referentes ao objetivo principal do tema. Também foi explorado fontes diversificadas, buscando trazer novas ideias e inspirações. Estes materiais foram priorizados de acordo com sua relevância.
- Depois de ter explorado uma boa diversidade de conteúdo, eles foram organizados, para facilitar encontrar o que seria preciso no momento da escrita do TCC.

A pesquisa documental se define em analisar documentos ou dados que não foram ainda sistematizados e publicados (Wazlawick, 2010). Para esta pesquisa foi realizado:

- Foi adquirido materiais de primeira mão sobre os projetos encontrados, feitos pelos próprios desenvolvedores(ex. relatórios, gráficos, planilhas, dissertações, fichas, artigos, gravações, regulamentos, etc.)
- Foram analisados todas as informações obtidas a fim de organizá-las e montar fichamentos com tais materiais
- Baseado nestes materiais, foi apresentado uma conclusão dissertativa que demonstra o impacto positivo da inteligência artificial sobre o trânsito urbano, baseada na análise feita das informações coletadas

4 Técnicas mais atualizadas para melhoria do tráfego urbano

Este capítulo apresenta algumas das técnicas mais atualizadas para melhoria do tráfego urbano.

4.1 Carros autônomos Waymo

Waymo é uma empresa subsidiária da Alphabet Inc. (empresa mãe do Google) atuante em Los Angeles(EUA), que está desenvolvendo veículos autônomos. Sua tecnologia, a *Waymo Driver (WD)* de automação se encaixa para os mais diversos tipos de veículos urbanos, desde minivans e veículos utilitários esportivos (SUV) até caminhões de serviço pesado. Com o WD os passageiros não precisam conduzir, eles podem se sentar enquanto são levados ao seu destino.

Para que o veículo autônomo possa operar, é feito um mapeamento do território por onde ele irá circular, reconhecendo os elementos necessários tais como faixas da

pista, de pedestre, o limite que divide a rua e a calçada, placas como a de “pare” por exemplo. Todos esses dados são combinados com dados de sensores embutidos no veículo e de GPS, essa combinação garante uma maior precisão.

WD utiliza da aprendizagem de máquina para processar e interpretar os dados complexos que são coletados e assim entender o que está acontecendo ao redor, inclusive reconhecer o sinaleiro para que saiba quando parar e quando seguir em frente. Toda a experiência adquirida pelo sistema tanto em situações reais quanto em simulações é utilizada para aprendizado, levando em conta que cada elemento de um cenário real tem um comportamento particular que não está sob o controle do sistema, essa experiência é usada para prever todos os caminhos que outros possam tomar, sejam pedestres, outros veículos na pista, ciclistas etc.

Todas as informações coletadas também são utilizadas para determinar a melhor rota até o destino, assim como a velocidade, as faixas e manobras para priorizar a segurança do passageiro.

4.1.1 Elementos do sistema

LiDAR, o sensor de luz, apresentado na Figura 7, pinta uma imagem 3D dos arredores do veículo. Estão localizados ao redor do veículo para enviar milhões de pulsos de laser em todas as direções e, em seguida, medir quanto tempo leva para eles ricochetearem nos objetos.

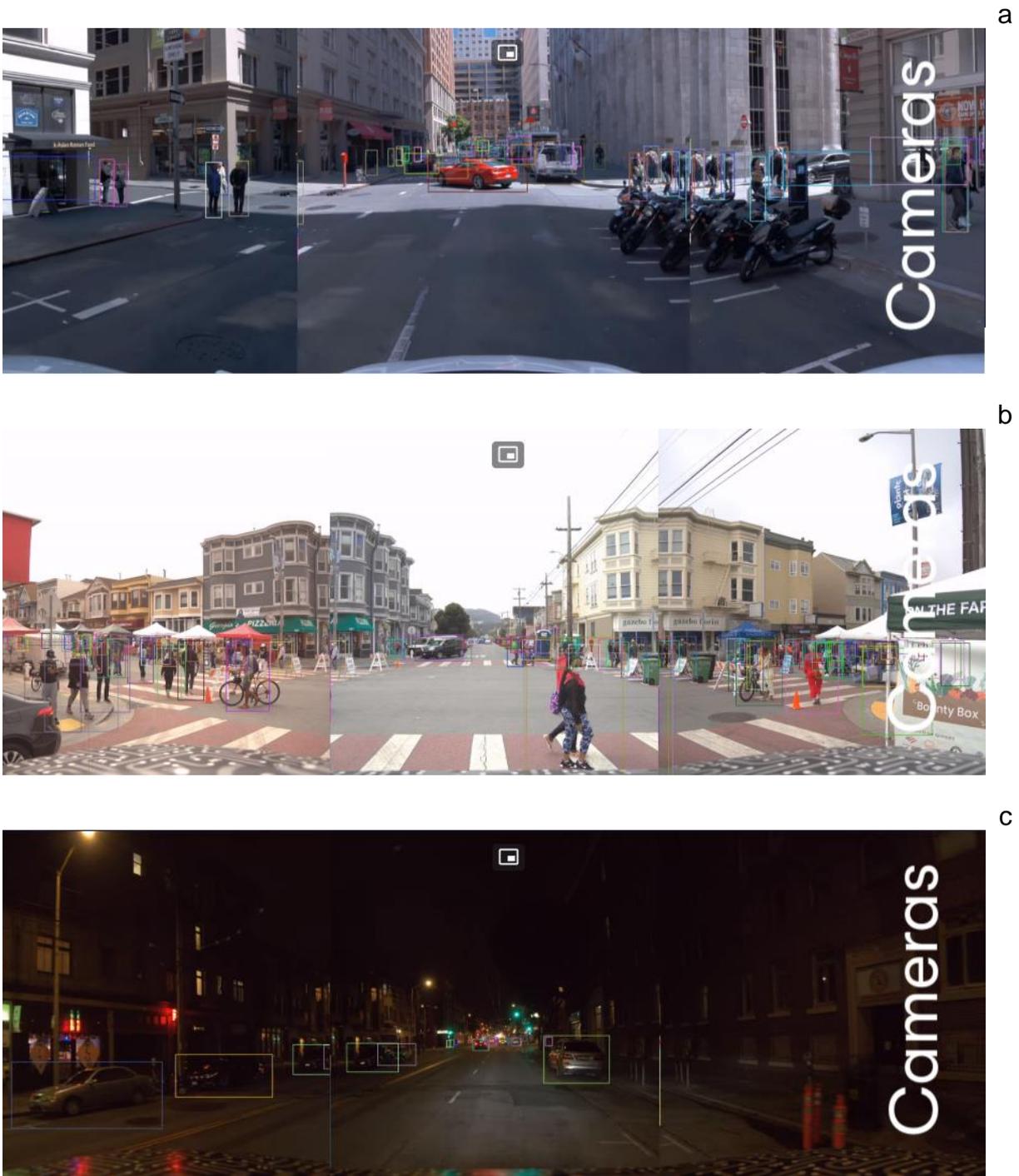
Figura 9 - Imagem 3D gerada pelo sensor de luz



Fonte: Waymo (2023)

Câmeras com visão simultânea de 360° ao redor do veículo, ilustradas na Figura 9 (a,b e c), são projetadas com alta faixa dinâmica e estabilidade térmica, para ver tanto a luz do dia quanto em condições de pouca luz e lidar com ambientes mais complexos. Eles podem localizar semáforos, zonas de construção e outros objetos de cena, mesmo a centenas de metros de distância. É relatado que existem modelos que possuem 19 câmeras embutidas e outros que possuem 29.

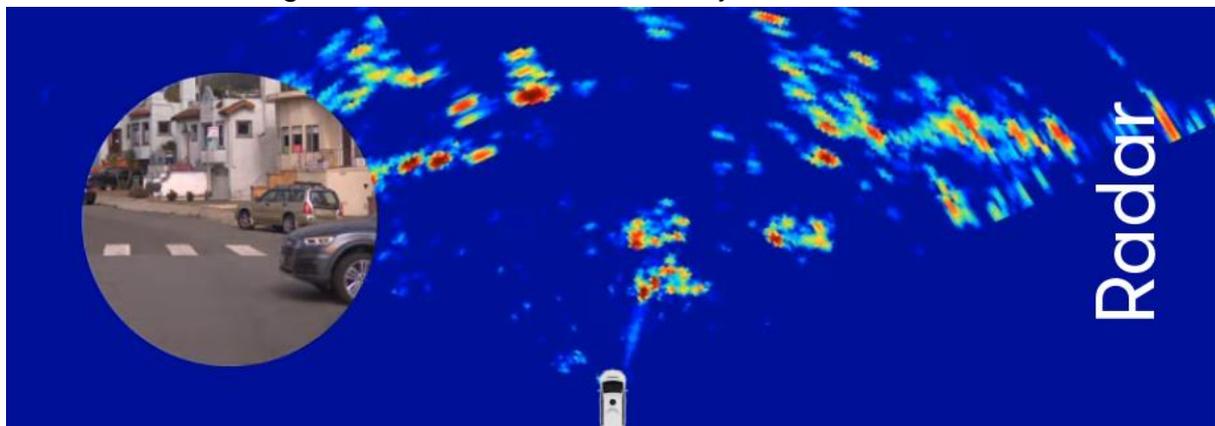
Figura 10 - Visão das câmeras 360°



Fonte: Waymo (2023)

Radar: usa frequências de ondas milimétricas para fornecer ao WD detalhes cruciais, como a distância e a velocidade de um objeto. O radar é eficaz na chuva, neblina e neve.

Figura 11 - Radar detectando objetos à sua frente



Fonte: Waymo (2023)

Computador de bordo: é o “cérebro” do WD, combina as mais recentes CPUs e GPUs de nível de servidor. Ele coleta informações fornecidas por dezenas de sensores no carro, identifica os diferentes objetos (como outros carros e pedestres) e planeja uma viagem segura rota para o seu destino - tudo em tempo real.

Figura 12 - Compartimento do computador de bordo



Fonte: Waymo (2023)

O WD da Waymo está em teste nos Estados Unidos(EUA), os veículos estão operando como 'Robotáxi', um táxi autônomo que as pessoas da cidade de Phoenix podem usufruir.(Mancuzo, 2022)

4.2 Tesla *Autopilot*

A Tesla Inc. fundada em 2003, é uma empresa especializada em carros elétricos, em São Francisco. Mesmo sua atuação sendo voltada para fabricação e distribuição de veículos elétricos, ela também atua em projetos de sustentabilidade. A empresa tem iniciativas na geração e armazenamento de energia solar, bem como na comercialização de componentes elétricos como baterias industriais de lítio-íon (Canaltech, 2023).

O piloto automático é um sistema avançado de assistência ao motorista que aumenta a segurança. Quando usado corretamente, o piloto automático poupa o passageiro parcialmente de agir como um motorista. Ao contrário de modelos passados que usavam radares, os modelos mais novos da Tesla são equipados com oito câmeras externas e um poderoso processamento de visão para fornecer uma camada adicional de segurança. Esta nova tecnologia baseada em câmeras é chamada de Tesla *Vision*.

O piloto automático, o piloto automático aprimorado e a capacidade total de autocondução ainda exigem que o usuário esteja totalmente atento, estando com as mãos no volante e preparado para assumir o comando a qualquer momento. Embora esses recursos sejam projetados para se tornarem mais capazes com o tempo, os recursos atualmente ativados não tornam o veículo completamente autônomo.

- Recursos do piloto automático: controle de cruzeiro com reconhecimento de tráfego, que corresponde à velocidade do seu carro com a do tráfego ao redor; direção automática que auxilia na direção dentro de uma faixa claramente marcada e usa o controle de cruzeiro com reconhecimento de tráfego
- Recursos do piloto automático aprimorado: guia ativamente seu carro da rampa de acesso à rampa de saída de uma rodovia, incluindo sugestões de mudanças de faixa, navegação em cruzamentos, ativando automaticamente o sinal de direção e tomando a saída correta; estacionamento automático que ajuda a estacionar o carro em paralelo ou perpendicular, com um único toque; move seu carro para dentro e para fora de um espaço apertado usando o aplicativo móvel ou a chave; invocação inteligente que faz com que seu carro navegue em ambientes e vagas de estacionamento mais complexos, manobrando em torno de objetos conforme necessário para encontrá-lo em um estacionamento.

- Recursos do modo de capacidade total de autocondução: além de incluir os recursos dos outros dois, também identifica sinais de parada e semáforos e desacelera automaticamente seu carro para parar no momento certo, com sua supervisão ativa

4.3 Motional e seu ecossistema de veículos autônomos

Motional é uma associação econômica (um acordo comercial) atuante nos EUA, entre as empresas Aptiv e Hyundai que trabalha para implementar a utilização de veículos autônomos de forma segura e acessível. Trabalha em estreita colaboração com parceiros públicos e privados para combinar tecnologia avançada sem motorista com um caminho viável para a comercialização.

4.3.1 Ioniq 5 Robotaxi

A Figura 13 apresenta o Modelo visual do Ioniq 5, que é o carro autônomo produzido pela Motional

Figura 13 - Modelo visual do Ioniq 5



Font: Motional (2023)

É um veículo autônomo nível 4(veículo pode operar sozinho e tem capacidade para tomar decisões graças à Inteligência Artificial) totalmente elétrico que pode operar com segurança sem um motorista.

4.3.1.1 Tecnologias utilizadas

Seu sistema de computação a bordo processa grandes volumes de dados dos sensores do robotaxi para fornecer ao veículo uma visão e compreensão do mundo ao seu redor. Também possui um conjunto com mais de 30 sensores, uma combinação de câmeras, radar e LiDAR, que fornecem percepção robusta de 360 graus e detecção de objetos de alcance ultra longo para operação segura.

Sua abordagem gira em torno da *Continuous Learning Framework (CLF)* da Motional, uma infraestrutura baseada em nuvem que usa princípios de aprendizado de máquina para tornar a frota de veículos autônomos mais experiente e segura a cada quilômetro percorrido. Durante a detecção de objetos no cenário pode haver objetos raros como por exemplo algum carro exótico, e a IA precisa também estar preparada para lidar com isso apesar de não ser algo que ocorra frequentemente para ser processado nos dados de treino.

O CLF encontra esses raros casos extremos no grande volume de dados coletados pela frota. Essa estrutura de tecnologia emprega uma série de etapas principais: mineração de casos raros, criação de dados de treinamento por meio de anotação automática e manual de dados, re-treinamento dos modelos de aprendizado de máquina usando esses dados e avaliação dos modelos atualizados em escala.

4.4 Aurora Innovation

Este material foi retirado do site desta empresa cujo link encontra-se nas referências (*Aurora, 2023*).

A *Aurora Innovation* é uma renomada empresa líder no campo de veículos autônomos, cuja atuação tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento e avanço desta revolucionária tecnologia. Com sede nos Estados Unidos, a empresa tem se destacado por sua dedicação à pesquisa e desenvolvimento de sistemas de direção autônoma de ponta, visando aprimorar a segurança, eficiência e acessibilidade do transporte rodoviário.

4.4.1 Aurora Driver

Um sistema de direção autônoma inteligente em constante aprimoramento, projetado para perceber e navegar com segurança pelo ambiente circundante. Seu sistema de percepção utiliza uma combinação de sensores que permitem uma visão ampla, mesmo em condições climáticas adversas. Destaca-se o *FirstLight LiDAR*, que

estende a visibilidade do veículo a até 400 metros na estrada, resultando em tempos de reação mais rápidos e um planejamento de movimento mais seguro. Projetado para se adaptar a uma ampla gama de tipos de veículos, desde um sedã de quatro portas até um semi-caminhão Classe 8 (veículos comerciais de grande porte).

4.4.2 Elementos do sistema

Em questão de *hardware*, o Aurora Driver possui vários sensores e opera em um computador exclusivo e robusto, capacitando-o a executar software poderoso que compreende ambientes complexos e controla o veículo com precisão. Uma máquina de alta velocidade que ingere dados do sensor, executa o software Aurora Driver e controla o veículo.

No lado do software, o sistema incorpora dados de mapeamento em alta definição, proporcionando um profundo conhecimento do mundo em constante transformação ao seu redor. Para aprimorar continuamente o sistema, o Aurora Driver foi treinado em vias públicas e em testes virtuais que o expuseram a cenários raros. Esses eventos são registrados e integrados ao banco de dados de simulação, contribuindo para a melhoria contínua do sistema. Qualquer mudança detectada no ambiente é compartilhada com todos os outros veículos equipados com a tecnologia Aurora, garantindo um progresso constante na segurança e eficiência da direção autônoma.

4.4.2.1 Computador

Projetado com o princípio de redundância, caracterizado pela inclusão de elementos suplementares ou duplicados, todos com funções idênticas, a fim de garantir a continuidade de operações críticas, mesmo em situações de falhas em componentes-chave. Essa estratégia é fundamental para assegurar a confiabilidade do sistema, permitindo que ele mantenha seu funcionamento consistente mesmo quando enfrenta problemas ou falhas em um de seus componentes essenciais.

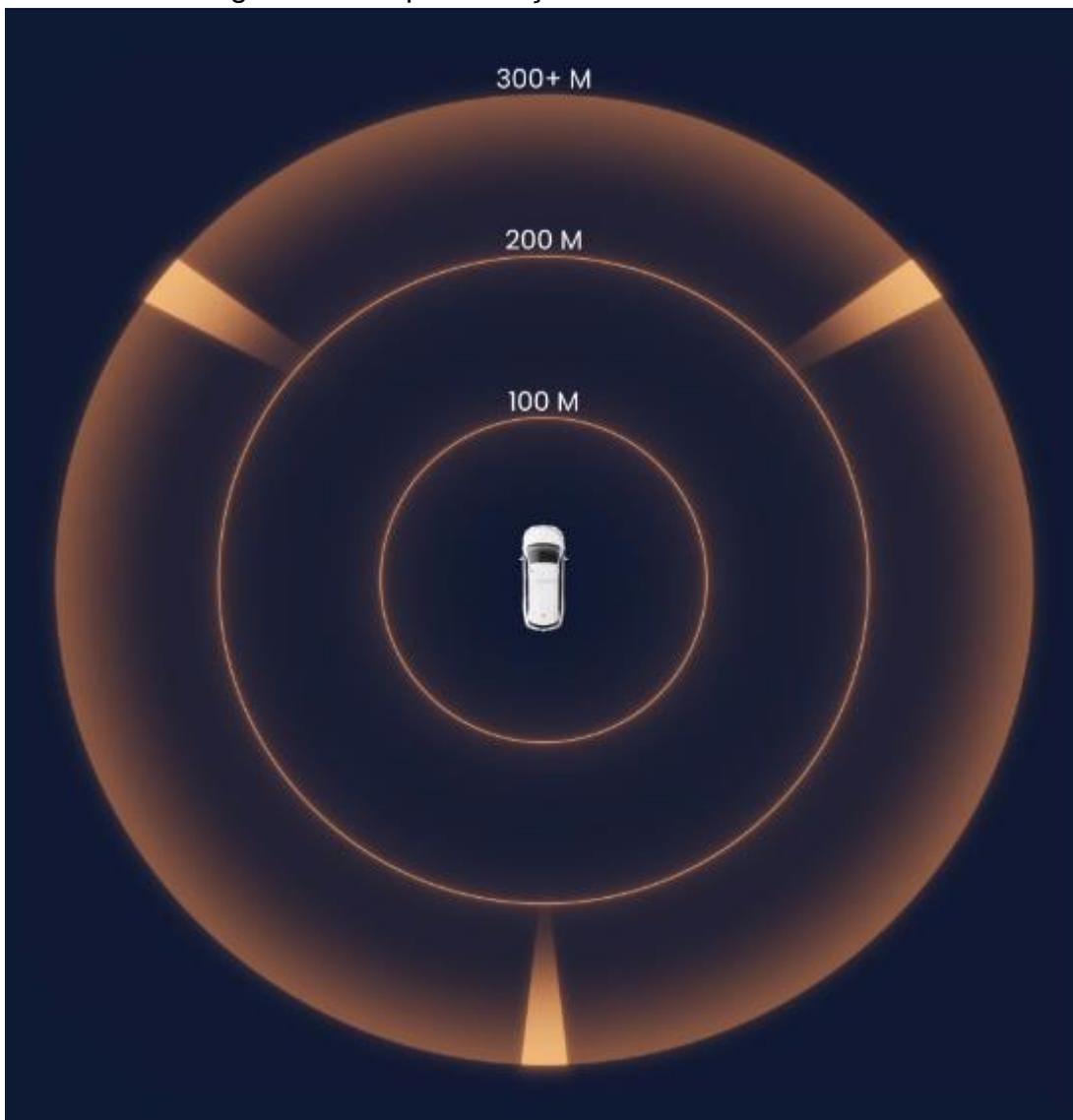
Além disso, o computador do Aurora Driver foi concebido de acordo com os padrões de confiabilidade mecânica estabelecidos pela norma ISO 16750-3 (norma estabelece procedimentos e critérios de teste para avaliar a capacidade de componentes elétricos e eletrônicos em veículos automotivos de suportar condições ambientais adversas e extremas.), o que implica em sua capacidade de resistência a uma ampla variedade de condições de estrada e flutuações de temperatura,

abrangendo desde climas rigorosamente frios, como o da Pensilvânia, até ambientes extremamente quentes, como o do Texas. Com o intuito de facilitar a sua integração eficiente com veículos de diferentes dimensões, o computador do Aurora Driver foi dimensionado de forma a ocupar o mínimo de espaço necessário.

4.4.2.2 Sensores

O conjunto dos sensores do veículo contém lidar, radar e câmeras que se combinam para fornecer ao Aurora Driver uma visão sobreposta de 360° de seu ambiente. Seu design modular é otimizado para facilidade de manutenção, durabilidade e combinação perfeita com uma ampla variedade de veículos. A Figura 14 mostra uma representação visual da área de cobertura dos sensores.

Figura 14 - Representação visual dos sensores do veículo



Fonte: Aurora Innovation Inc

FirstLight é o *Light Detection and Ranging* (LiDAR) de longo alcance *Frequency-Modulated Continuous Wave* (FMCW) personalizado, que permite que os caminhões viajem com segurança em altas velocidades. É resistente a interferências e mede com precisão a posição e a velocidade de cada ponto que observa para construir uma representação 3D dinâmica do mundo ao redor do Aurora Driver. O termo "*FMCW long-range LiDAR*" se refere a um tipo específico de tecnologia LiDAR que utiliza a técnica FMCW para medir distâncias e detectar objetos.

4.4.2.3 Câmeras

Usando câmeras feitas com tecnologia de sensores automotivos e lentes personalizadas, o Aurora Driver é capaz de detectar e classificar objetos e cores a grandes distâncias, mesmo em condições de iluminação desafiadoras.

4.4.2.4 Radares

Os sensores de radar de imagem personalizados produzem imagens 3D precisas com maior alcance e resolução do que os radares automotivos tradicionais, garantindo que o Aurora Driver possa ver com segurança uma ampla variedade de condições climáticas.

4.4.3 Como o Aurora Driver interage com o mundo

O software de autonomia é composto por sistemas inteligentes de percepção e planejamento de movimento, e é apoiado por um mapa de alto detalhamento e um mecanismo de simulação.

Ao fundir as informações coletadas de cada tipo de sensor em uma representação 3D coerente, precisa e confiável de seu ambiente, o sistema de percepção de última geração do Aurora Driver detecta, rastreia e identifica objetos que estão próximos, distantes, rápido, lento e estacionário. Essa capacidade de perceber e estar ciente do que está ao seu redor o tempo todo dá ao sistema uma vantagem de segurança até mesmo sobre os melhores motoristas humanos.

O conhecimento das rotas a serem seguidas e das expectativas ao longo dessas rotas contribui para aprimorar a segurança e a confiança do Aurora Driver. O Aurora Atlas, por sua vez, representa um mapeamento leve, escalável e de alta definição, oferecendo informações precisas sobre as condições das estradas. À medida que o

Aurora Driver se depara com novas infraestruturas ou alterações nas vias, o Atlas é continuamente atualizado para refletir as condições atuais das estradas. Dessa maneira, cada veículo equipado com este sistema se beneficia do conhecimento coletivo adquirido pela frota de veículos em operação.

O treinamento, teste e validação do Aurora Driver ocorre em um ambiente virtual hiper-realista, integrado ao nosso mecanismo de simulação. Isso possibilita iterações contínuas e aprimoramento do desempenho do sistema, eliminando a necessidade de percorrer extensas distâncias no mundo real.

A opção pela simulação se revela a abordagem mais segura e eficiente para o desenvolvimento da tecnologia de direção autônoma. Dentro do ambiente virtual, o sistema adquire habilidades para lidar com cenários extremos e complexos sem exposição a riscos. Além disso, permite a identificação e resolução proativa de problemas, evitando que possíveis falhas cheguem à fase de implementação nas vias públicas.

4.5 Aptiv

Uma empresa sediada em Dublin na Irlanda, especializada em tecnologias de mobilidade, a Aptiv desenvolve soluções para veículos autônomos, incluindo hardware e software. Este material foi retirado do site desta empresa cujo link encontra-se nas referências (*Aptiv, 2023*).

Na indústria automóvel, a segurança activa refere-se aos Sistemas Avançados de Assistência à Condução (ADAS) num veículo que ajudam os condutores a reduzir a gravidade dos acidentes ou a evitá-los totalmente através da gestão da direcção, travagem e propulsão.

A segurança sempre foi uma preocupação primordial no mundo automotivo. A indústria desenvolveu protocolos de testes de classe mundial relacionados com a segurança dos veículos e os seus avanços têm sido altamente bem sucedidos na redução do número de mortes no trânsito.

Ao utilizar sensores como radar, câmeras e sensores ultrassônicos, um veículo pode perceber o mundo ao seu redor. Os processadores então interpretam essas informações, agindo como um segundo par de olhos para o motorista e tomando medidas, se necessário.

Sistemas de alerta relativamente simples , como a detecção de ângulo morto ou o aviso de colisão frontal, têm o potencial de salvar vidas por si só, mas quando

associados a uma tecnologia que vai além de um simples aviso para criar um sistema de segurança ativo, os resultados são impressionantes.

Por exemplo, um veículo pode detectar se está se aproximando de um objeto muito rapidamente, tentar avisar o motorista e então aplicar os freios automaticamente se o motorista não responder a tempo. De acordo com o Instituto de Seguros para Segurança Rodoviária, o aviso de colisão dianteira com frenagem automática de emergência reduz as colisões traseiras em 50% .

Exemplos de sistemas de segurança ativa mais avançados incluem recursos como mudança automática de faixa, assistência em rodovias e assistência em engarrafamentos. Nestes exemplos, vários sensores ao redor do veículo devem ser integrados por meio de fusão de sensores , para que poderosos controladores de domínio executando algoritmos de software avançados possam processar as informações e tomar decisões de direção.

Embora os sistemas de segurança ativa básicos possam realizar uma única ação, como a frenagem, esses sistemas mais avançados auxiliam o motorista em vários aspectos do controle do veículo.

A Aptiv, tem como meta um futuro com zero acidentes ou mortes no trânsito, e para isso, a segurança ativa desempenha um papel crucial, prevenindo totalmente o acidente.

Foi reconhecida pela *Automotive News* como vencedora do *PACE Award 2019* por sua Plataforma de Computação por Satélite de Condução Automatizada. Embora as arquiteturas típicas de veículos tenham inteligência distribuída por meio de múltiplas unidades de controle eletrônico, sua plataforma de computação está retirando o máximo possível de processamento e eletrônica de sensores individuais e centralizando-os, tornando-os menores, mais econômicos, mais leves e mais fáceis de empacotar em um veículo.

Esta empresa foi a primeira a implantar o radar em um veículo em 1999 para o *Adaptive Cruise Control*. Partindo desse ponto, houveram enormes avanços, como serem os primeiros a introduzir radar de estado sólido num veículo, o que melhorou enormemente a fiabilidade e reduziu os custos.

Aptiv também é líder em Sensor Fusion. Ao combinar uma ampla gama de entradas de sensores de satélite, incluindo visão e LiDAR, através da fusão de baixo nível do Aptiv, foi criado um modelo robusto do ambiente ao redor do veículo.

Inovações como sistemas avançados de assistência ao condutor (ADAS), eletrificação e capacidades de veículos definidas por software geram mais dados do que nunca. Os dados do veículo podem ser extremamente valiosos, mas apenas quando combinados com uma forma econômica de extrair insights ocultos nos dados.

Aptiv Connected Services oferece soluções de aquisição e análise de dados para veículos de pré-produção e produção. Sua tecnologia pode ajudar a testar e validar veículos em desenvolvimento, reduzir custos de garantia e recall, diminuir o custo total de propriedade de uma frota e minimizar o tempo de inatividade do veículo. Mais de 70% dos principais fabricantes de veículos do mundo confiam no Aptiv para validação e testes de pré-produção.

A Aptiv nunca para de inovar quando se trata de seu portfólio completo de conectores, terminais, vedações e cabeçotes automotivos. Sua ampla linha de sistemas de conexão robustos, confiáveis e fáceis de usar pode atender a qualquer aplicação no veículo e permitir avanços futuros no design automotivo. Também possui experiência comprovada em campo no desenvolvimento de conectores e soluções de carregamento de alto desempenho e alta potência necessários para a próxima geração de veículos híbridos e elétricos.

Os centros elétricos Aptiv reduzem peso, embalagem e custo ao mesmo tempo em que colocam as peças no lugar para a próxima geração de arquiteturas elétricas. Eles trabalham em estreita colaboração com os clientes para desenvolver a solução que melhor atenda às suas necessidades, desde configurações cabeadas até dispositivos baseados em PCB e os mais recentes centros elétricos de estado sólido.

A *Aptiv Services* projeta, cria e opera soluções de mobilidade, permitindo que as montadoras e seus principais parceiros forneçam programas complexos com agilidade e maior velocidade de lançamento no mercado. Sua solução completa de desenvolvimento e validação de ADAS baseada em dados permite o desenvolvimento e validação altamente automatizada de ADAS baseados em IA/ML e funções de direção autônoma.

Seu projeto de cockpit digital inclui uma plataforma de referência baseada no sistema operacional *Android Automotive*, aceleradores de software, ferramentas, processos, design de software de plataforma de infoentretenimento, desenvolvimento, integração e evolução de plataforma para criar uma experiência de cockpit digital totalmente personalizável.

A Aptiv entregou a primeira solução de infoentretenimento veicular do mundo com aplicativos e serviços do Google integrados no Polestar 2, seguido pelo Volvo XC40, lançado em junho de 2023. Ele permite acesso integrado a serviços como Google Assistant, Google Maps e Google Play Store. O Volvo XC40 também é o primeiro Volvo a receber atualizações de software e sistema operacional *over-the-air* (OTA) em tempo real, bem como aplicativos automotivos criados pela comunidade global de desenvolvedores Android. O *Android Automotive OS*, combinado com atualizações OTA, permitirá que o veículo evolua e melhore ao longo do tempo, mantendo uma solução nova ao longo da vida útil do veículo. Aptiv trabalhou com o Google e liderou o desenvolvimento e integração do *Android Automotive OS*, ao mesmo tempo que obteve acesso antecipado a atualizações e recursos do Android.

A *Smart Vehicle Architecture* (SVA) da Aptiv é uma filosofia e conceito de design de nível de veículo para sistemas elétricos e eletrônicos que reduz o custo total de propriedade e permite veículos altamente automatizados e ricos em recursos.

Ao separar a entrada/saída da computação, os controladores de zona Aptiv oferecem um dos principais benefícios do SVA. Em vez de cada sensor e atuador transmitir linhas de dados para um controlador de domínio de segurança ativo, o controlador de zona agrega os dados em uma única interface de alta velocidade.

O SVA ajuda a indústria automotiva a evoluir em direção ao veículo definido por software, no qual mais recursos e funções são habilitados principalmente por meio de software que pode ser atualizado de forma rápida e fácil. Garantir que os desenvolvedores tenham ferramentas, processos e estruturas superiores para criar, testar e atualizar esse software de forma eficiente é uma prioridade máxima para todo o setor. Ele também acelera enormemente o tempo de lançamento no mercado, permitindo que o software seja desenvolvido de forma completamente independente do hardware subjacente, com estes benefícios:

- Definir a classe de hardware da arquitetura nos permite oferecer ao software "níveis de desempenho garantidos".
- Dividir soluções monolíticas em peças modulares de funcionalidade significa que o teste e a validação ficam mais fáceis, rápidos e menos arriscados.
- A ativação de atualizações remotas permite que a funcionalidade seja entregue quando estiver estável e madura, mesmo depois que o veículo tiver saído da fábrica.

- Disponibilizar o mesmo software para veículos recém-fabricados para aqueles que já estão no campo reduz significativamente os custos de garantia relacionados ao software e elimina a necessidade de atualizações do ano do modelo.
- A integração crescente de Unidade de Controle Eletrônico distribuídos em um conjunto consolidado de controladores de domínio significa que o poder de computação é mantido ou aumentado, mas o excesso de bagagem de vários microcontroladores, fontes de alimentação, gabinetes e cobre é descartado, ao mesmo tempo que simplifica bastante a complexidade física.

4.6 Mobileye

Uma empresa de tecnologia israelense, sediada em Jerusalém, adquirida pela Intel em 2017, a Mobileye é conhecida por seus sistemas avançados de assistência ao motorista e está trabalhando no desenvolvimento de veículos autônomos. Este material foi retirado do site desta empresa cujo link encontra-se nas referências (Mobileye, 2023).

A Mobileye é líder na indústria automotiva com seu *System-on-Chip* (SoC) conhecido como EyeQ, que é amplamente reconhecido por sua capacidade de suportar tarefas de visão complexas e intensivas em computação. Mais de 50 fabricantes de veículos optaram pelo EyeQ devido à sua capacidade de cumprir metas ambiciosas em termos de custo, desempenho e eficiência. Projetado especificamente para fornecer soluções de mobilidade confiáveis, o EyeQ é um SoC escalonável de nível automotivo que atende às necessidades dos mercados de assistência ao motorista e de direção autônoma. A família de SoCs oferece suporte a uma ampla gama de soluções de mobilidade, desde sistemas de assistência ao motorista de baixa voltagem com câmera frontal até sistemas totalmente autônomos que processam dados de câmeras de alta resolução, radares e LiDARs. Com uma arquitetura única e altamente eficiente de aceleradores diversificados, EyeQ alcança desempenho de visão computacional de última geração em um conjunto de baixo consumo de energia.

O EyeQ se destaca por sua arquitetura eficiente, aproveitando aceleradores diversificados para oferecer desempenho de visão computacional de última geração com um consumo de energia eficiente. A abordagem de computação heterogênea do EyeQ permite o uso dos núcleos de CPU e aceleradores especializados, incluindo redes neurais de aprendizado profundo, para executar tarefas específicas. Isso é

suportado por um kit de desenvolvimento de software fácil de usar, permitindo que os clientes personalizem suas soluções com seus próprios algoritmos.

A Mobileye também está comprometida em abordar as questões de segurança na direção autônoma. A empresa propôs o conceito de Segurança Sensível à Responsabilidade (SSR), baseado em regras de bom senso inspiradas no comportamento humano seguro ao dirigir. As regras do SSR incluem manter distância segura, respeitar a preferência, ser cauteloso em situações de visibilidade limitada e quebrar regras de trânsito apenas em circunstâncias extremas, desde que isso não leve a riscos adicionais.

A Mobileye construiu veículos autônomos de desenvolvimento que podem operar com base em câmeras e radar/LiDAR. O subsistema de câmera é fundamental para esses veículos, com o radar/LiDAR oferecendo segurança adicional e maior confiabilidade. A redundância de sensores é um aspecto crítico para a segurança dos veículos autônomos, e a Mobileye garante que ambos os canais (câmera e radar/LiDAR) detectem e modelem completamente o ambiente ao redor.

Além disso, a Mobileye está revolucionando os sistemas de radar e LiDAR específicos para a direção autônoma. Isso é fundamental para atingir os altos padrões de segurança necessários para veículos autônomos. A abordagem da redundância reduz significativamente o número de horas de validação necessárias, tornando a tecnologia autônoma mais segura e eficiente.

Para possibilitar a direção autônoma em escala global, a Mobileye está criando um mapa do mundo que é continuamente atualizado e baseado em *crowdsourcing*. Esse mapa é projetado para atender às necessidades específicas dos veículos autônomos, fornecendo dados precisos para suas operações. A ampla cobertura global do Mobileye *Roadbook*, desenvolvido pela REM, permite a implantação de veículos autônomos em novas regiões de forma rápida e eficaz.

A engenharia de veículos autônomos envolve dois componentes críticos: percepção e política de direção. A percepção refere-se à capacidade do veículo de entender o ambiente circundante, identificando objetos e sua posição. A política de direção envolve a tomada de decisões com base nas informações percebidas. A Mobileye está focada em aprimorar ambas as áreas para tornar a direção autônoma segura e eficaz.

5 Conclusão

Este trabalho teve o propósito de responder a seguinte questão de pesquisa: **Como a automatização de veículos através da IA pode melhorar o trânsito urbano?**

Ao longo deste trabalho buscou-se as tecnologias e avanços relacionados à automação de veículos e seu impacto no trânsito urbano. A pesquisa revelou que a integração da inteligência artificial, GPS, *machine learning*, reconhecimento de imagens, radares, visão computacional e outras tecnologias desempenha um papel fundamental na transformação do cenário do trânsito urbano. Empresas líderes na indústria automobilística, como a Tesla, Google, Uber e muitas outras, estão investindo pesadamente na pesquisa e desenvolvimento de veículos autônomos.

A automação de veículos promete melhorias significativas em diversos aspectos do trânsito urbano. Isso inclui a redução de acidentes, aumento da eficiência do tráfego, redução do congestionamento, economia de tempo para os motoristas, além de proporcionar uma experiência de condução mais segura e conveniente. A tecnologia também tem o potencial de tornar o transporte mais acessível para pessoas com mobilidade reduzida e idosos, tornando as cidades mais inclusivas.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação bem-sucedida dessa tecnologia requer não apenas avanços tecnológicos, mas também regulamentações e políticas adequadas para garantir a segurança e a integração harmoniosa desses veículos nas estruturas urbanas existentes. Além disso, questões éticas e de segurança cibernética também precisam ser consideradas.

A automação de veículos por meio da inteligência artificial é um campo em constante evolução, e a pesquisa e o desenvolvimento nesse setor continuarão a moldar o futuro do transporte urbano. À medida que avançamos nessa jornada, é imperativo que a colaboração entre empresas, governos e a sociedade civil seja incentivada para garantir que colhamos os benefícios plenos dessas inovações, ao mesmo tempo em que enfrentamos os desafios que elas apresentam.

A revisão bibliográfica realizada neste trabalho destaca a importância da integração de IA na automação de veículos para melhorar o trânsito urbano. Os resultados evidenciam que a implementação de IA no cenário automotivo oferece inúmeras vantagens, desde a redução de acidentes até a otimização do fluxo de tráfego, tornando as cidades mais fluidas. A capacidade da IA em processar

informações em tempo real, tomar decisões rápidas e adaptar-se a condições variáveis do tráfego é fundamental para aprimorar a segurança e a eficiência nas vias urbanas.

Além disso, a revisão também mapeou projetos existentes e em desenvolvimento na área de automação veicular utilizando IA, demonstrando o crescente interesse e investimento nessa tecnologia. Empresas líderes, bem como startups inovadoras, estão desenvolvendo soluções de veículos autônomos que prometem revolucionar a mobilidade nas cidades. Esses projetos têm o potencial de transformar radicalmente o modo como as pessoas se deslocam, reduzindo o congestionamento e tornando o transporte mais conveniente e acessível.

Também a revisão da literatura apontou que a IA, se aplicada de maneira adequada, pode um dia pilotar veículos de maneira mais eficiente do que os seres humanos em muitos aspectos. A capacidade de aprendizado de máquina e a capacidade de processamento de dados da IA permitem uma direção mais segura, com menos erros humanos e uma resposta mais rápida a situações imprevistas no trânsito. Isso não apenas melhora a segurança viária, mas também a eficiência do tráfego, resultando em uma experiência de direção mais suave.

Conclui-se que, a integração da IA na automação de veículos é uma tendência que está moldando o futuro do trânsito urbano. O potencial para acelerar o tráfego e tornar as cidades mais fluidas é evidente, mas também são necessários esforços contínuos para superar desafios regulatórios, éticos e de segurança. À medida que essa tecnologia continua a evoluir, seu impacto na mobilidade urbana será inegável, promovendo cidades mais eficientes, seguras e acessíveis para todos.

Assim, conclui-se que a automação de veículos, impulsionada pela inteligência artificial, tem o potencial de revolucionar o trânsito urbano e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Com investimentos contínuos e uma abordagem cuidadosa, pode-se caminhar em direção a um futuro de mobilidade mais eficiente, segura e sustentável.

Para continuidade desta pesquisa sugere-se os seguintes trabalhos futuros:

- Impacto da Integração de Veículos Autônomos no Meio Ambiente
- Segurança Cibernética em Veículos Autônomos
- Mobilidade e Inclusão: Benefícios dos Veículos Autônomos para Pessoas com Mobilidade Reduzida
- A Evolução da Legislação e Regulamentação para Veículos Autônomos
- Segurança do passageiro nos veículos autônomos

Referências

ALVES, Sérgio. A matemática do GPS. IME-USP, 2006. Disponível em: <[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/GPS para engenharia %20de %20transito.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/GPS_para_engenharia_%20de_%20transito.pdf)> Acesso em: 04/10/2023

AURORA INNOVATION INC, Disponível em <<https://aurora.tech>> Acesso em: 25/09/2023

APTIV. Disponível em: <<https://www.aptiv.com/en>>. Acesso em: 10/10/2023

BBC. A inteligência Artificial pode acabar com os engarrafamentos?. BBC.2019. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-46895407>>. Acesso em: 03/11/2022

BERNARDI, José Vicente Elias; LANDIM, Paulo M. Barbosa. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados, 2002. UNESP. Acesso em 29/04/2023

CANALTECH. Tesla. Canaltech. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/empresa/tesla/>>. Acesso em: 27/04/2023.

CECCON, Denny. IA EXPERT. Ford lança City Insights: plataforma de IA para gerenciamento da mobilidade urbana. IA Expert, 7 out. 2019. Disponível em: <<https://iaexpert.academy/2019/10/07/ford-lanca-city-insights-plataforma-de-ia-para-gerenciamento-da-mobilidade-urbana/>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

COELHO, Alexandre Hering. ECV5129 - Engenharia de Tráfego. UFSC, 2016. Acesso em: 08/04/2023

DAMACENO, Siauri Santos; VASCONCELOS, Rafael Oliveira. Inteligência Artificial: Uma breve abordagem sobre seu conceito real e o conhecimento popular, 2018. Acesso em 29/04/2023

DESSBESELL JÚNIOR, Gilberto. Simulação de controle adaptativo de tráfego urbano através de sistema multiagentes e com base em dados reais. Unisc, 2015. Acesso em: 03/11/2022

DIRENE, Alexandre. Visão Geral Sobre Inteligência Artificial. Acesso em: 10/09/2022

FAGUNDES, Eduardo. Como a Inteligência Artificial pode ajudar na mobilidade humana. Blog Eduardo Fagundes. 2019. Acesso em: 17/03/2023.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto, 2005. Acesso em: 05/10/2023

GALLI, Evelton Roberto. Automação De Leitura De Veículos Automotores Usando Identificação Por Rádio Frequência E Inteligência Artificial Em Semáforos, 2012, UTFPR.

GOLDNER, Lenise Grando. Engenharia de Tráfego 2º Módulo, UFSC. Acesso em: 09/04/2023

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa, 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

KAUFMAN, Dora. A Inteligência Artificial irá suplantar a inteligência humana?, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fh-WDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=inteligência+artificial+deep+learning&ots=ovWOHoHe35&sig=D9iF-wMezPmSSntVA8QjUP2eTmM&redir_esc=y#v=onepage&q=inteligência%20artificial%20deep%20learning&f=false> Acesso em: 25/09/2023

ALVES JUNIOR, Oscar Francisco Alves. Inteligência Artificial Aplicada A Mobilidade Urbana E Trânsito Visando Meio Ambiente Sustentável, 2021.

KAUFMAN, Dora. Deep learning: a Inteligência Artificial que domina a vida do século XXI, 2018. Disponível em:

<<https://revistas.pucsp.br/index.php/teccogs/article/view/48585/32067>> Acesso em: 25/09/2023

MANCUZO, Ronnie. Waymo: táxis autônomos da dona do Google continuam em expansão, 2022. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2022/11/12/carros-e-tecnologia/waymo-taxis-autonomos-da-dona-do-google-continuam-em-expansao/>> Acesso em: 09/04/2023

MARENGONI, Maurício; STRINGHINI, Denise. Introdução à Visão Computacional usando OpenCV, 2010. Acesso em: 15/09/2023

MICHELETTO, Telma Maria Gorgulho Pereira. O Risco Do Idoso Pedestre Nas Vias Urbanas, 2011. Disponível em:

<https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/pedestre_idoso.pdf>. Acesso em: 13/09/2023

MILANO, Danilo de; HONORATO, Luciano Barrozo. Visão computacional, 2010. UNICAMP. Acesso em 29/04/2023

MOBILEYE. Disponível em: <<https://www.mobileye.com>>. Acesso em: 10/10/2023

MONARD, Maria Carolina; BARANAUSKAS, José Augusto. Sistemas Inteligentes, 2003. Disponível em: <<https://dcm.ffclrp.usp.br/~augusto/publications/2003-sistemas-inteligentes-cap4.pdf>>. Acesso em 29/09/2023

MOTIONAL. Our technology. Disponível em: <<https://motional.com/technology>> Acesso em 29/04/2023

NOVAIS, Pedro. Inteligência Artificial e regulação de algoritmos. Disponível em: <https://etica.uazuay.edu.ec/sites/etica.uazuay.edu.ec/files/public/49f7d3_Intelig%C3

[%AAncia%20Artificial%20e%20Regula%C3%A7%C3%A3o%20de%20Algoritmos.pdf](#)

>. Acesso em 10/09/2022

ORACLE, O que é inteligência artificial (IA)? Saiba mais Sobre Inteligência Artificial.

Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/artificial-intelligence/what-is-ai/>>. Acesso em 10/09/2022

PRESTES, Edson. Introdução à robótica móvel. Disponível em:

<<https://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/Slides/RAula25.pdf>>. Acesso em 09/03/2023

RÉOS, João Paulo; FARIAS, Anderson Rodrigo. Uso de Inteligência Artificial para reconhecimento de vagas disponíveis em estacionamentos, 2019. Acesso em:

05/10/2022

SALLES, Álvaro. O que é Visão Computacional e para que serve?. Disponível em:

<<https://santodigital.com.br/o-que-e-visao-computacional-e-para-que-serve/#:~:text=Vis%C3%A3o%20computacional%20%C3%A9%20uma%20%C3%A1rea,relevantes%20para%20uma%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20futura>>. Acesso em: 23/03/2023

TEIXEIRA, João. O que é Inteligência Artificial. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=oDSZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=intelig%C3%AAncia+artificial&ots=5GlxEcUoKT&sig=BWTrDn5nV57CD7uZp5zEL_hISFA&redir_esc=y#v=onepage&q=intelig%C3%AAncia%20artificial&f=false>.

Acesso em: 05/10/2022

VASCONCELOS, Eduardo Alcântara. Os Conflitos na Circulação Urbana: Uma Abordagem Política da Engenharia de Tráfego. Disponível em

<<http://www.cetsp.com.br/media/20437/nt083.pdf>> Acesso em: 05/09/2023

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara. O que é trânsito. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=ImkvDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=tr%C3%A2nsito&ots=4cPwM-->

[TMB&sig=4mU8uh55MSWO4QfWucMQVfw8Kg&redir_esc=y#v=onepage&q=tr%C3%A2nsito&f=false](https://www.infomoney.com.br/colunistas/convidados/carros-autonomos-a-waymo-algum-dia-sera-um-motor-de-geracao-de-valor-para-a-alphabet/). Acesso em: 05/10/2022

VIUGE, Maria Antonia; VINHAES, Roberto. Carros autônomos: a Waymo algum dia será um motor de geração de valor para a Alphabet?, 2022. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/colunistas/convidados/carros-autonomos-a-waymo-algum-dia-sera-um-motor-de-geracao-de-valor-para-a-alphabet/>> Acesso em: 09/04/2023

WAYMO. Waymo Driver. Disponível em: <<https://waymo.com/waymo-driver/>> . Acesso em: 09/04/2023

WAZLAWICK, Raul Sidnei. Metodologia de Pesquisa Para Ciência da Computação, 2ª ed., 2014.

ZANOTTA, Daniel Capella; CAPPELLETTO, Eliane; MATSUOKA, Marcelo Tomio. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física, 2011. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Acesso em: 05/10/2023



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Caio Marques Silva do Curso de Engenharia da Computação, matrícula 20191003300250, telefone: 62 993765723 e-mail caiocpe@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado UM ESTUDO SOBRE COMO A AUTOMAÇÃO DE VEÍCULOS ATRAVÉS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODERIA MELHORAR O TRÂNSITO URBANO, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 17 de Dezembro de 2023.

Assinatura do autor: Caio Marques Silva

Nome completo do autor: Caio Marques Silva

Assinatura do professor-orientador: Solange da Silva

Nome completo do professor-orientador: Solange da Silva