

N° 180035

O Brasil na era dos veículos autônomos: preparando a estrada para o futuro

Douglas Bellomo Cavalcante

*Palestra apresentada na
UNICAMP, 2025. 39 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.
PROIBIDO A REPRODUÇÃO, APENAS PARA CONSULTA.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br

O BRASIL NA ERA DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS: PREPARANDO A ESTRADA PARA O FUTURO.

Tecnologias Digitais

07.10.2025

AGENDA

- O IPT
- Sistemas Avançados de Assistência à Condução (ADAS) X Veículos Autônomos
- Como o veículo autônomo funciona?
- Aplicações dos Veículos Autônomos
- Principais desafios e uso da simulação
- O futuro dos Veículos Autônomos no Brasil



O QUE É O IPT?

EXISTIMOS PARA PROVER SOLUÇÕES
TECNOLÓGICAS PARA A INDÚSTRIA,
OS GOVERNOS E A SOCIEDADE,
HABILITANDO-OS A SUPERAR
SEUS DESAFIOS E PROMOVENDO
QUALIDADE DE VIDA

IPT EM NÚMEROS*



126 ANOS DE
CONTRIBUIÇÕES PARA
A SOCIEDADE



> 1000
FUNCIONÁRIOS E
COLABORADORES



50% DE RECEITA
COM INOVAÇÃO



> 3.170
CLIENTES
ATENDIDOS



> 16.200
DOCUMENTOS
TÉCNICOS EMITIDOS



> 2000 PROCEDIMENTOS
DE ENSAIOS E ANÁLISES
NO PORTFÓLIO



35% DOS PROJETOS
IPT COM IMPACTO
DIRETO EM ESG

RECEITAS

Venda de projetos e
serviços por meio da
Fundação de Apoio
ao IPT (FIPT)

R\$ 105 Mi

Venda de projetos
e serviços para os
setores público e privado

R\$ 77 Mi

Dotação orçamentária do
Governo do Estado de
São Paulo

R\$ 118 Mi



Unidades do IPT no Brasil



- 1 São Paulo, SP
Sede do IPT e Parque Laboratorial
- 2 Bertioga, SP
Planta de Biodigestão de Resíduos Sólidos
- 3 Franca, SP
Lab. de Tecnologia Têxtil e Produtos de Proteção
- 4 São José dos Campos, SP
Laboratório de Estruturas Leves
- 5 São Sebastião, SP
Laboratório Flutuante
- 6 Piracicaba, SP
Laboratório de Infraestrutura em Energia
- 7 Manaus, AM
Núcleo IPT Amazônia

UNIDADES DE NEGÓCIOS

BIONANOMANUFATURA

Biotecnologia, Nanotecnologia, Microfabricação, Química e EPIs

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Planejamento Territorial, Obras Civis, Riscos, Recursos Hídricos, Florestas

ENERGIA

Geração, Infraestrutura, Eficiência, Energias limpas

ENSINO TECNOLÓGICO

Mestrado, MBA Internacional, Especialização

HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Conforto, Desempenho, Segurança, Materiais, Sustentabilidade

MATERIAIS AVANÇADOS

Metal, Polímero, Compósito, Celulose, Corrosão

TECNOLOGIAS DIGITAIS

IoT, Sistemas Embarcados, Sistemas de Transportes, IA, Analytics

TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Mecânica, Elétrica, Vazão, Aerodinâmica, Química





A man with a beard and a woman are standing in a dark room. The man is in the foreground, wearing a red polo shirt and gesturing with his hands. The woman is in the background, wearing a black top and leaning against a wall with her arms crossed. The background is dark and out of focus.

FABRÍCIO MIRANDOLA

Diretor Técnico no IPT

Hoje a gente tem uma estrutura de 8 unidades de negócio



SISTEMAS AVANÇADOS DE ASSISTÊNCIA À CONDUÇÃO (ADAS) X VEÍCULOS AUTÔNOMOS

NÍVEIS DE AUTONOMIA SAE J3016

- Veículos autônomos são aqueles onde não há necessidade de interferência humana (Nível 5)
- Todas as outras níveis contemplam tecnologias avançadas de auxílio à condução

ADAS leva à condução autônoma



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: sae.org/standards/content/j3016_202104

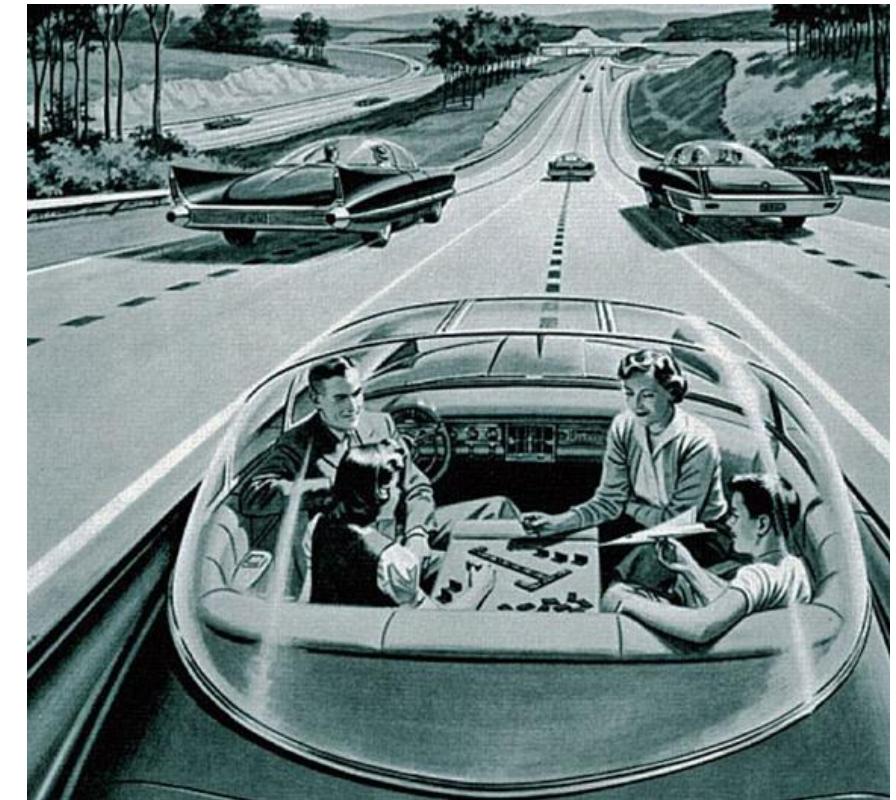
Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering	You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”				
You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety	When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving			
Copyright © 2021 SAE International.					
These are driver support features			These are automated driving features		
These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
What do these features do?	Example Features	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed
What does the human in the driver’s seat have to do?					• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions



HISTÓRIA DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS (VA) E APLICAÇÕES

- 1939 – 2004
 - Futurama (GM), Navlab (Carnegie Mellon) e Automatic High System (DoT/NHTSA)
- 2005-2007
 - Desafios DARPA (Grand Challenge e Urban Challenge)
- 2012-2018
 - Google (Toyota Prius e Firefly), GM Cruise, Audi A8, Argo AI
- 2018-2025
 - Waymo, Tesla*, Nuro (EUA – SAE Níveis 2 a 4)
 - Baidu, Pny.ai e DeepRoute.ai (China – SAE Nível 4)
 - Honda, Mercedes-Benz, BMW (Japão e Europa – SAE Nível 3)
 - Lume Robotics – Automação Nível 4 (Brasil)



SISTEMAS AVANÇADOS DE ASSISTÊNCIA À CONDUÇÃO

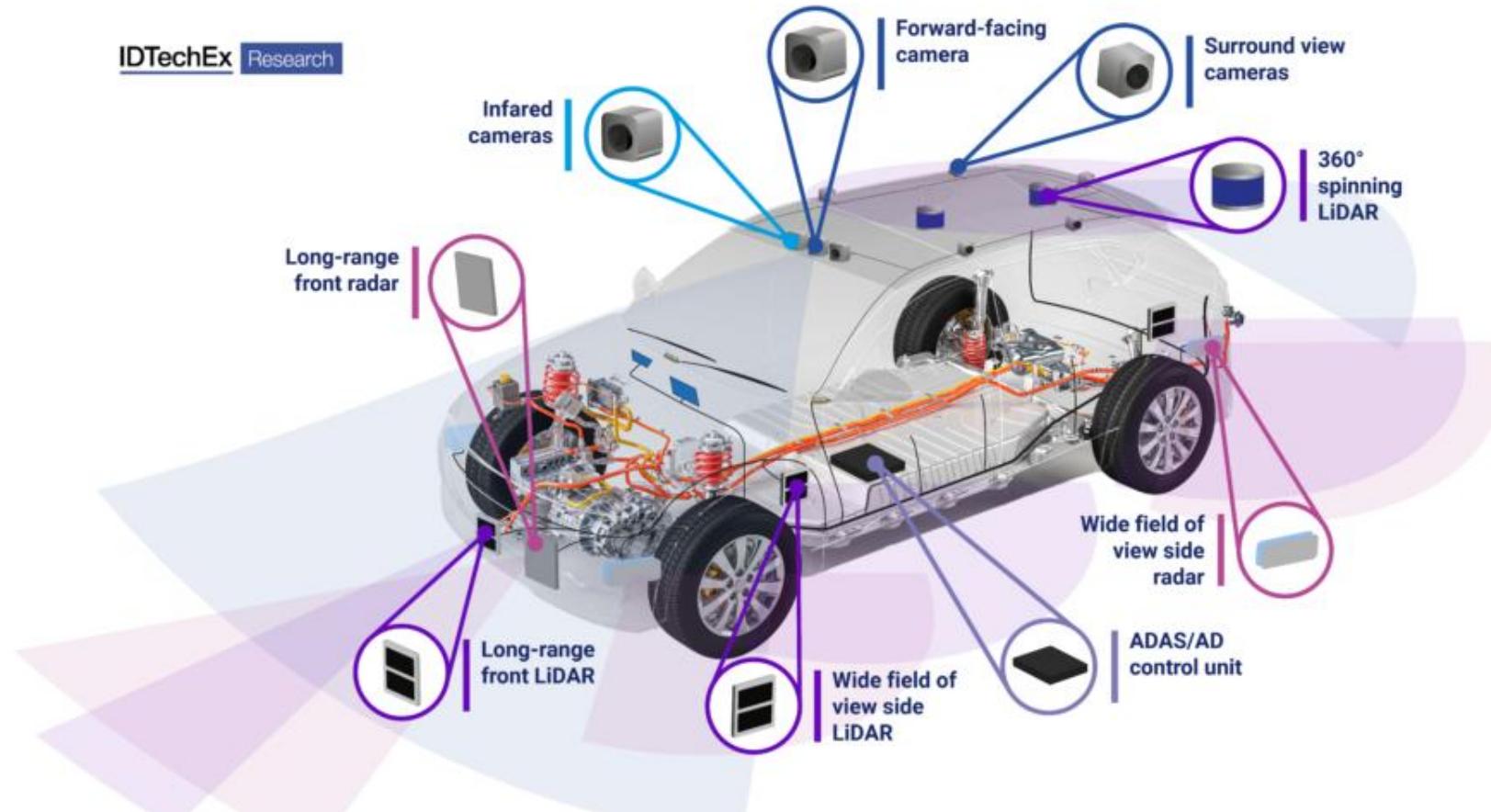


- Sistema de Antitravamento em Frenagens (ABS)
- Controle de Cruzeiro Adaptativo (ACC)
- Aviso de Colisão Frontal (FCW)
- Assistente de Frenagem (BA) e Sistema de Prevenção de Colisão (CAS)
- Assistente de Manutenção de Faixa (LKA)
- Assistente de Mudança de Faixa (LCA)
- Assistente Cooperativo
- Reconhecimento semafórico
- Adaptação de Velocidade Inteligente (ISA)
- Aviso de Ponto Cego (BSM)
- Detecção de Distração e Sonolência do Motorista
- Assistente de Interseção
- Sistema de Proteção ao Pedestre
- Visão Noturna



COMO O VEÍCULO
AUTÔNOMO FUNCIONA?

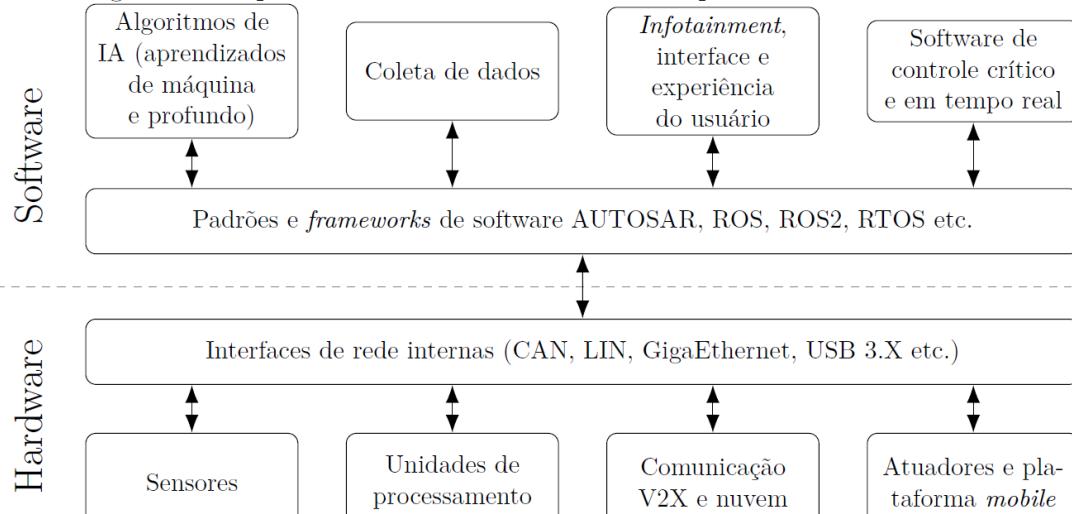
SENSORIAMENTO PARA ADAS E V.A.



Fonte: IDTechEx apud ADAS & Autonomous Vehicle International

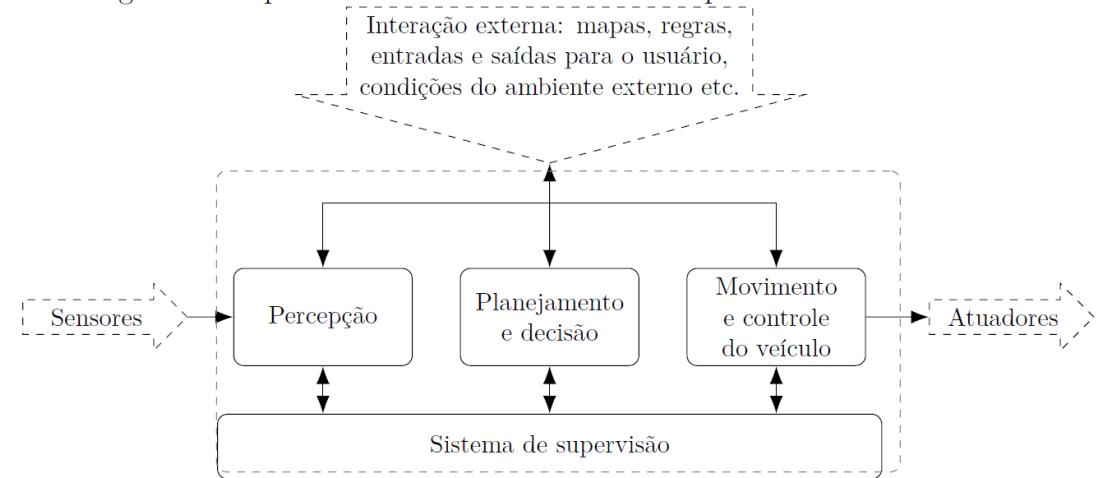
ARQUITETURAS DE V.A.

Figura 1: Arquitetura de veículo autônomo do ponto de vista técnico.



Fonte: traduzido de [Velasco-Hernandez et al. \(2020\)](#)

Figura 2: Arquitetura de veículo autônomo do ponto de vista funcional.



Fonte: traduzido de [Velasco-Hernandez et al. \(2020\)](#)

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE ADAS E V.A.



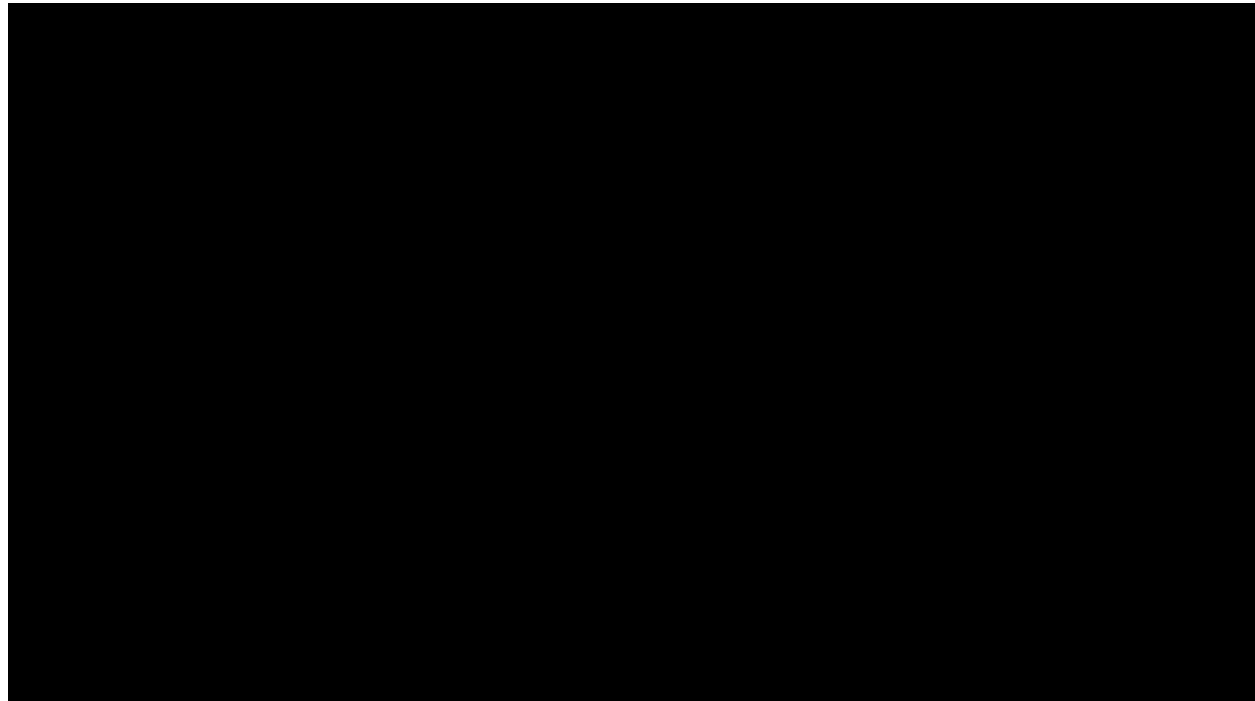
- 2005 – DARPA Grand Challenge
 - Vencedor Stanley
 - Primeiro a utilizar IA para percepção

- Redes Neurais Artificiais e Aprendizado Profundo são fundamentais para:
 - Percepção do ambiente
 - Identificação e classificação de outros veículos, pessoas, ciclistas e objetos
 - Fusão de sensores

COMO O VEÍCULO AUTÔNOMO ENXERGA O MUNDO?

Camada de Percepção

- É responsável por receber os dados dos sensores e processá-los para que o veículo reconheça o ambiente ao seu redor.
- Utiliza intensamente Inteligência Artificial e Visão Computacional para:
 - Reconhecimento de objetos
 - Classificação de objetos
 - Predição de movimento
 - Reconhecimento de sinalização
 - Fusão sensorial



LIDAR

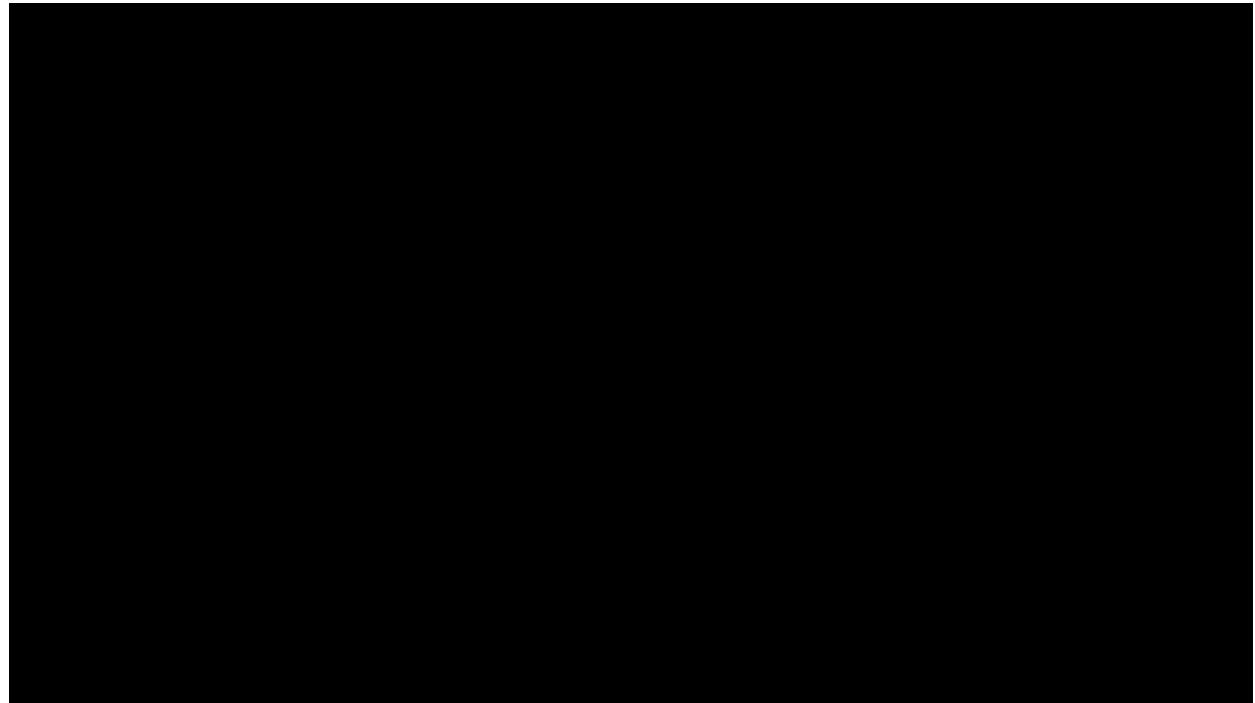
- “Radar” operado utilizando laser.
- Capaz de mapear o ambiente fornecendo uma nuvem de pontos em três dimensões.



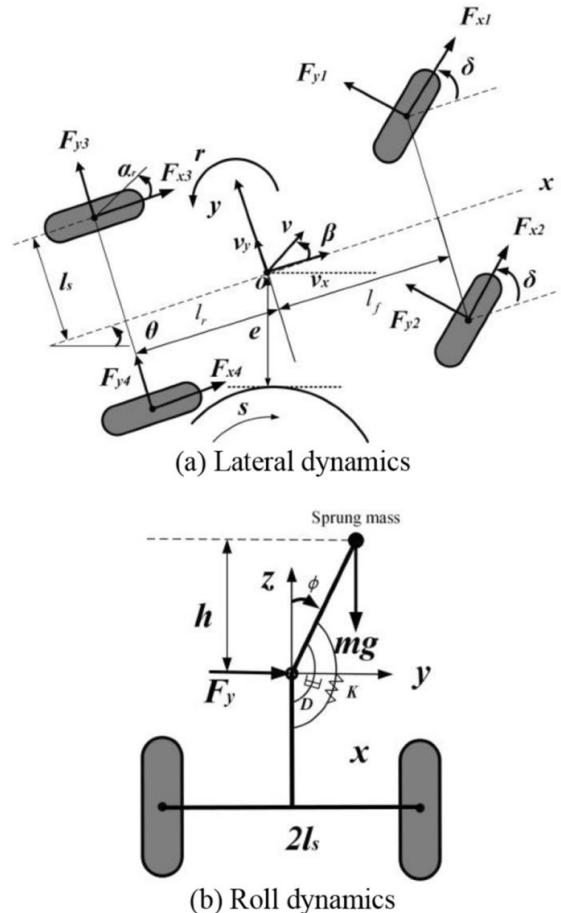
COMO O VEÍCULO SE LOCALIZA?

Camada de Planejamento

- **Planejamento Global**
 - Estabelece a melhor rota entre a origem e o destino.
 - Similar ao Waze ou Google Maps.
 - Usa algoritmo A* ou similares
- **Planejamento Local**
 - Estabelece o caminho do veículo em curtas distâncias.
 - Toma decisões locais para manter a trajetória e desviar de obstáculos.



COMO O VEÍCULO SE MOVIMENTA?



Camada de Controle

- Atua sobre as superfícies de controle do veículo
 - Longitudinal – Acelerador e freio
 - Lateral – Direção
- Depende da Dinâmica do Veículo como modelo físico-matemático, considerando suspensão, pneus, distribuição de carga, etc.
- Utiliza algoritmos de controle, em geral o Proporcional Integral Derivativo (PID).



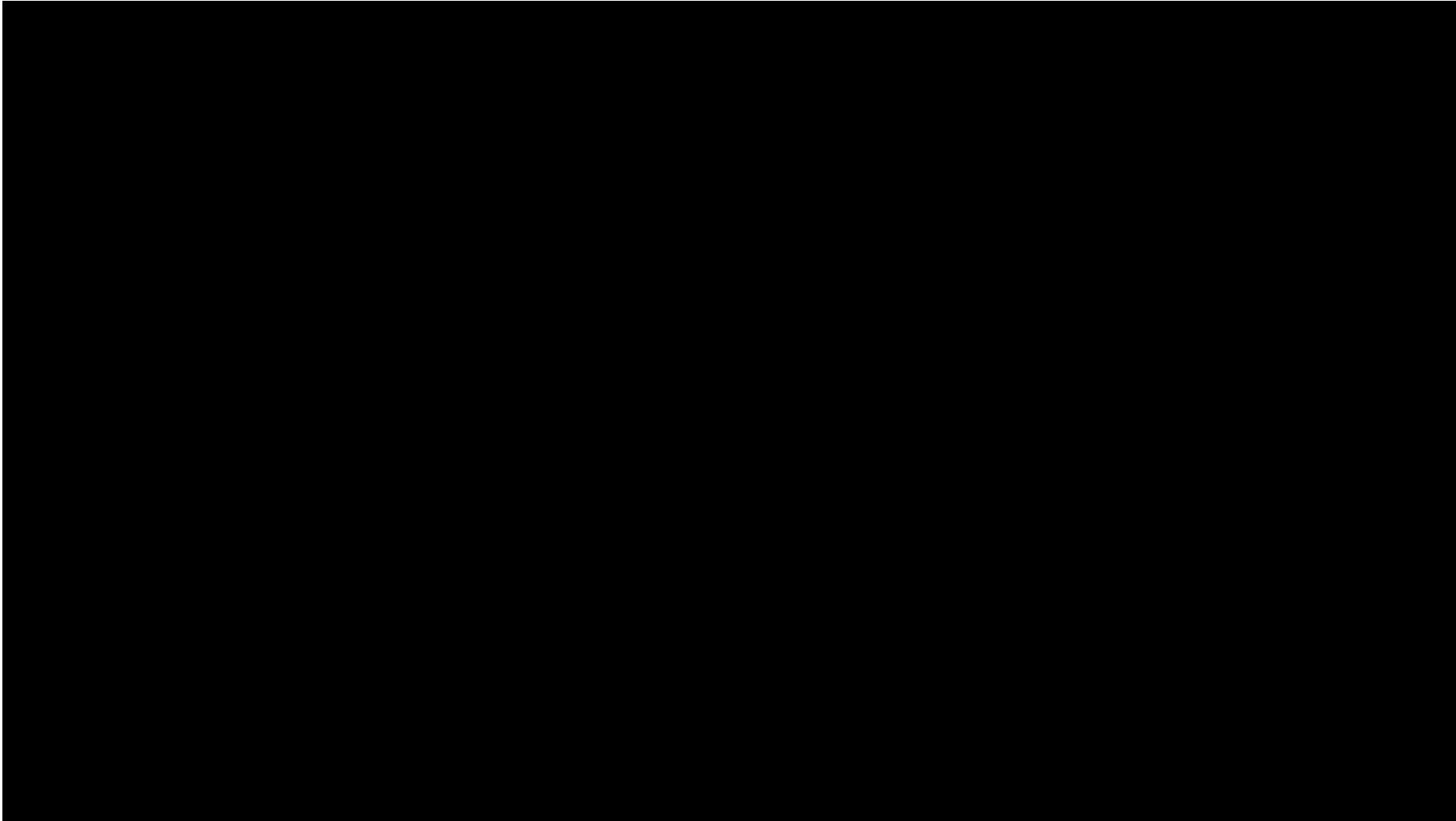
APLICAÇÕES DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS



TRANSPORTE DE PASSAGEIROS



TRANSPORTE DE CARGAS IN-DOOR



AGRICULTURA



MINERAÇÃO



COMBOIOS - PLATOONING

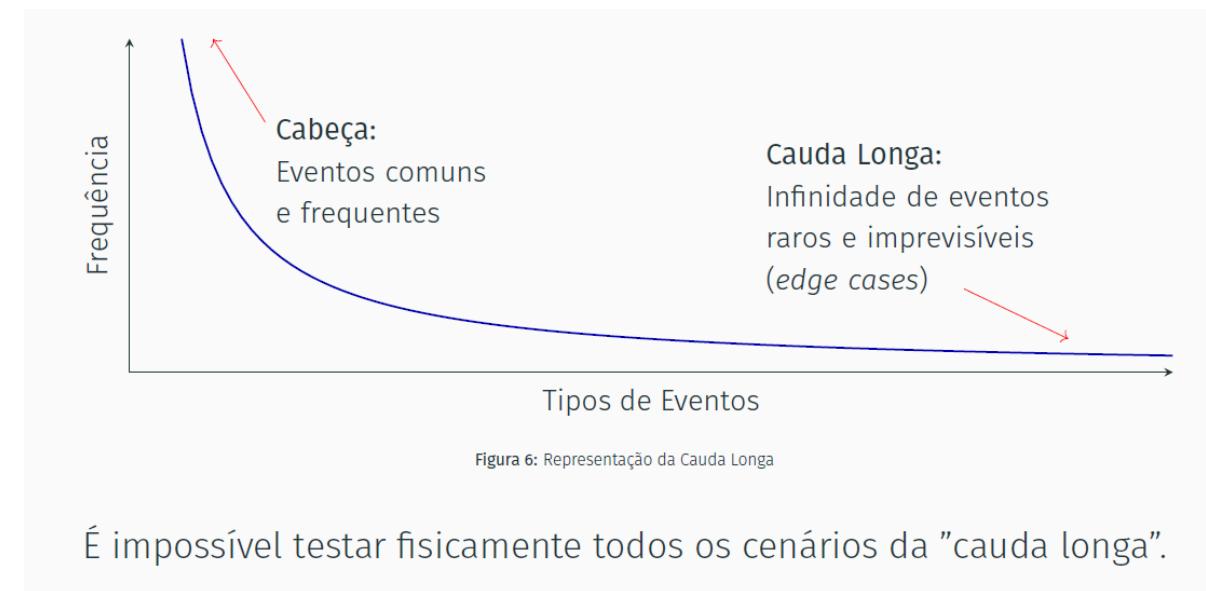


PRINCIPAIS DESAFIOS



DESAFIOS TECNOLÓGICOS

- Percepção
 - Condições climáticas adversas
 - Identificação de Casos de Borda
 - Predição da intenção humana
 - Complexidade de ambientes urbanos
- Complexidade e custos e hardware software
- Consumo de energia
- Falha e degradação de hardware, principalmente sensores
- Conectividade e comunicação V2X
- Geração de datasets para treinamento de IA e ganho de escala
- Cibersegurança
- Uso do V.A. em ambiente misto

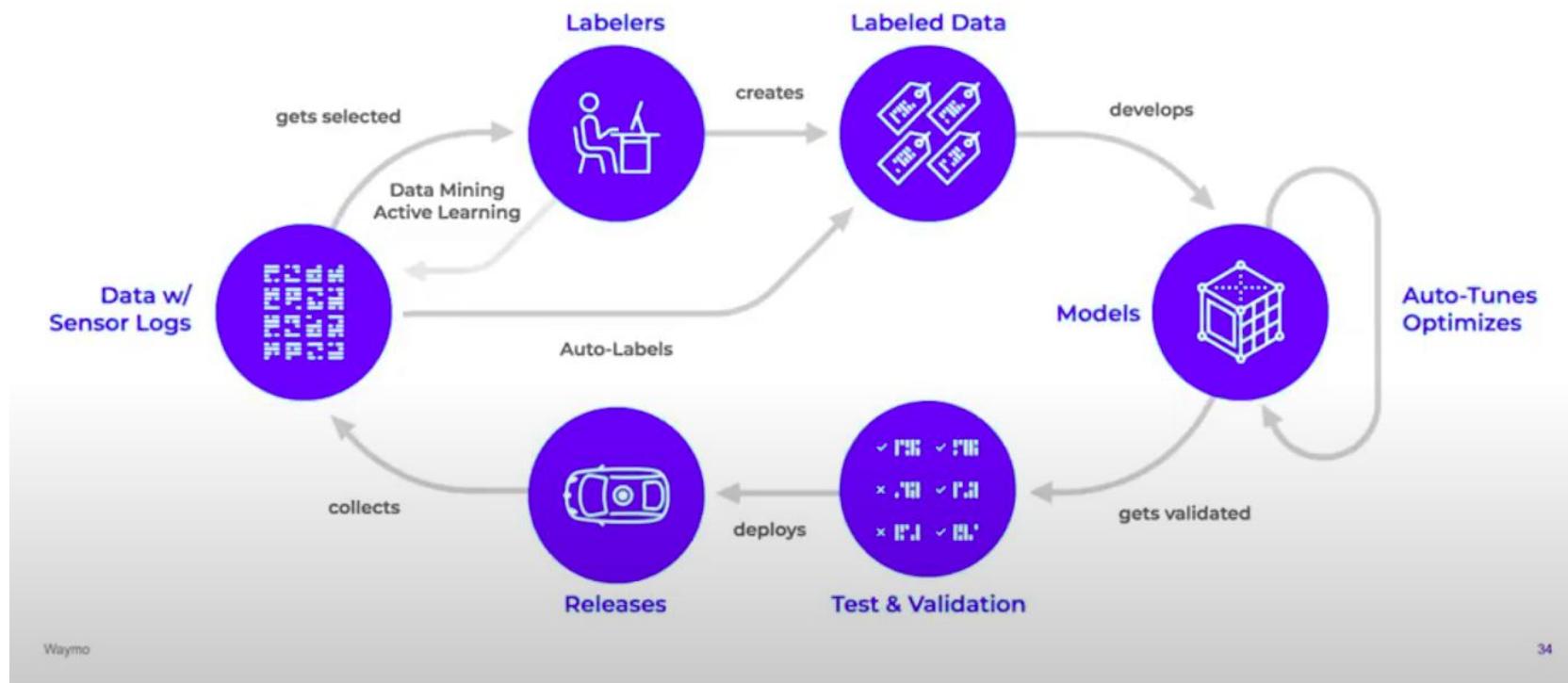


O PAPEL DA SIMULAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DE ADAS E V.A.



SIMULAÇÃO COMO FONTE DE DADOS PARA TREINAMENTO DE IAS

ML Factory For Self Driving Models

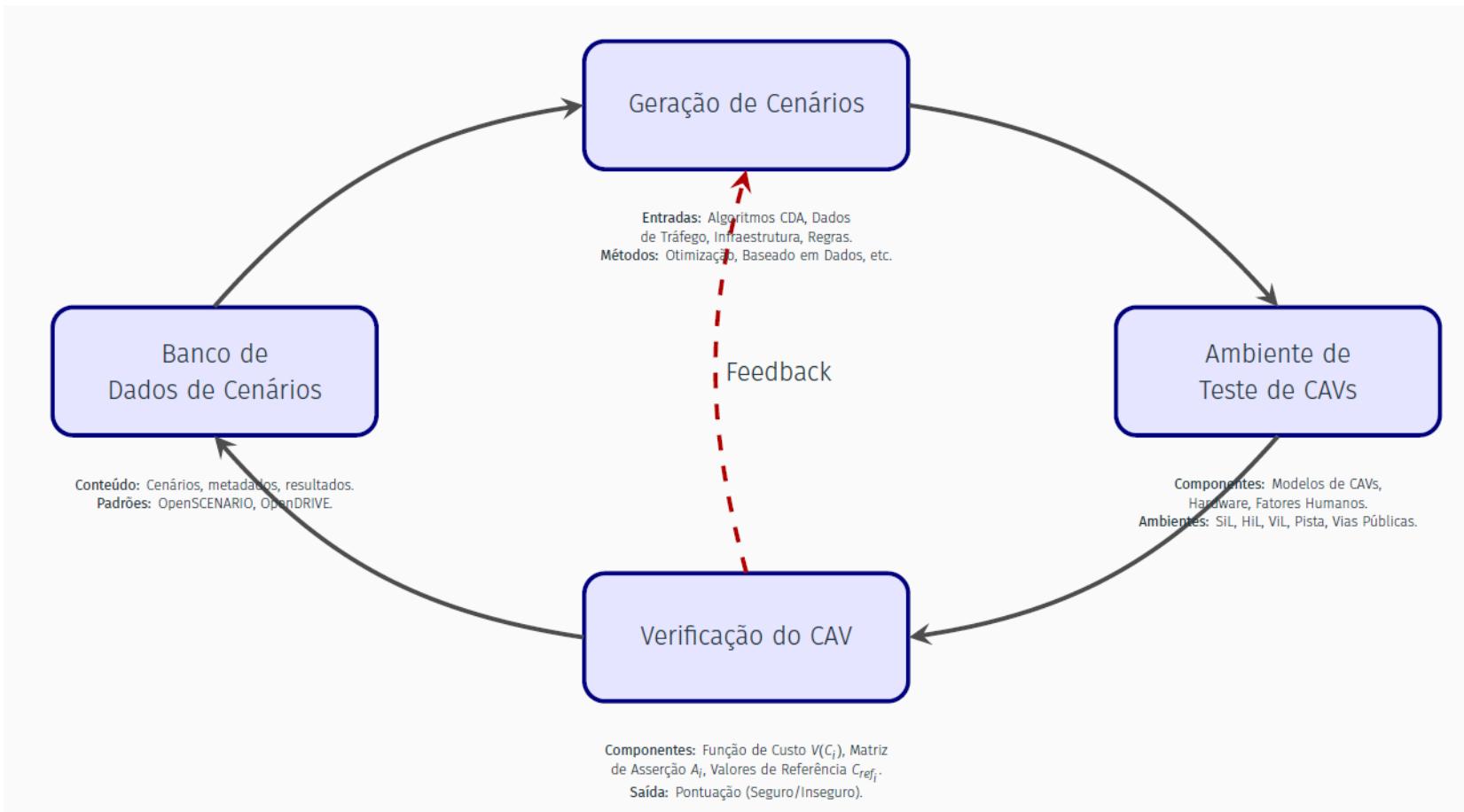


Fonte: Anguelov, 2019 (<https://www.youtube.com/watch?v=Q0nGo2-y0xY>)

CO-SIMULAÇÃO VISSIM/CARLA



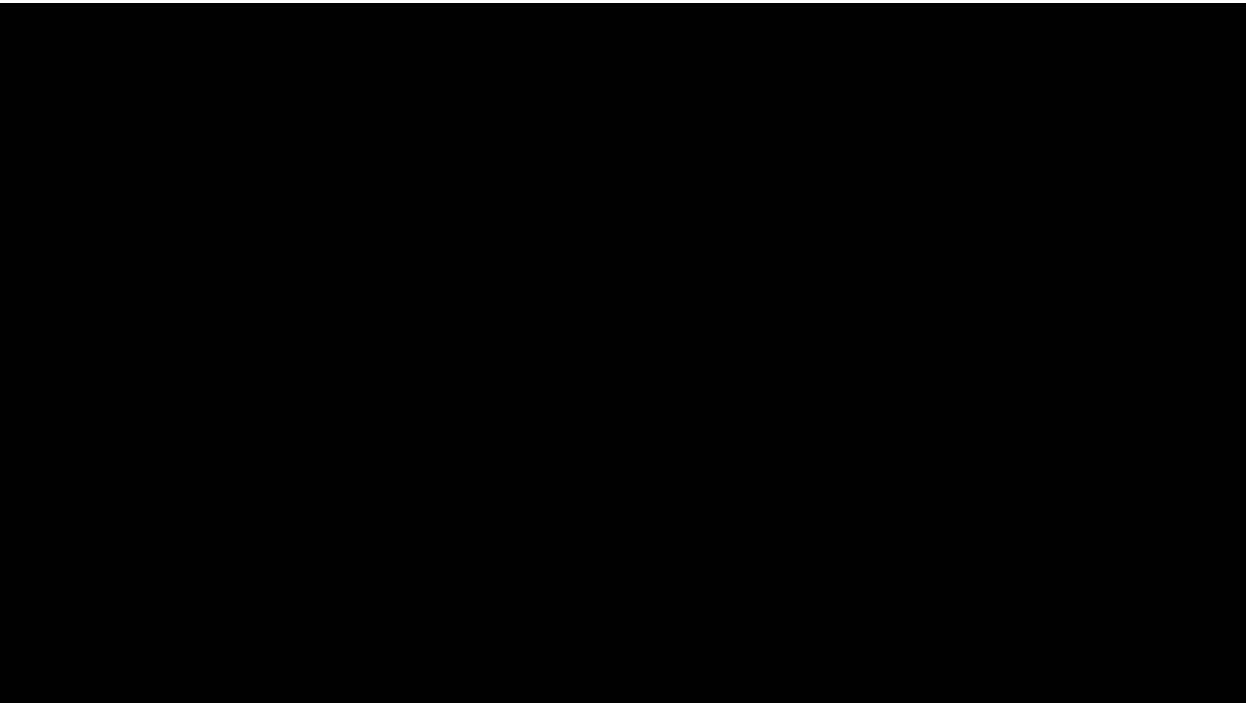
SIMULAÇÃO COMO FONTE DE DADOS PARA TESTES, VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO



Fonte: adaptado de Alemayehu e Sargolzaei, 2025.

AMBIENTES DE TESTE: “X-IN-THE-LOOP(XIL)”

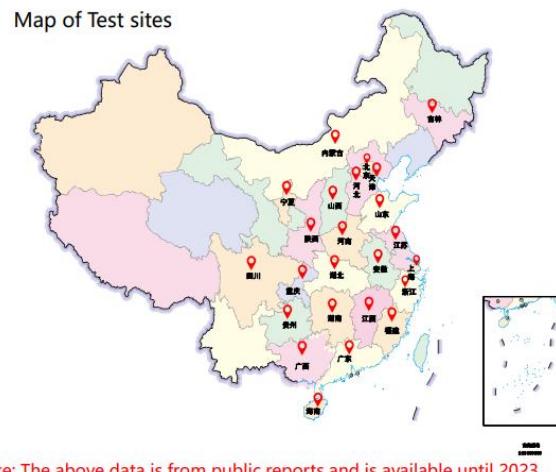
- Uma progressão virtual para o físico:
 1. Model-in-the-Loop (MIL): Modelos de software em simulação pura.
 2. Software-in-the-Loop (SIL): O código-fonte real em simulação.
 3. Hardware-in-the-Loop (HIL): A ECU real conectada ao simulador.
 4. Vehicle-in-the-Loop (ViL): O veículo completo interagindo com a simulação.
 5. Human-in-the-Loop (HuIL): Inclui um motorista humano para avaliar HMI e conforto.
 6. Traffic-in-the-Loop (TiL): Avalia o impacto do CAV no fluxo de tráfego simulado.



DESAFIOS REGULATÓRIOS

Região	Modelo Regulatório	Foco Principal
Europa	Homologação pré-mercado	Segurança e harmonização (UNECE)
EUA	Autocertificação	Inovação e fiscalização pós-mercado
China	Controle estatal e zonas piloto	Liderança estratégica e escala
Brasil	Homologação pré-mercado	Em desenvolvimento (legislação)

As filosofias regulatórias variam, impactando a velocidade de inovação e os requisitos de teste.



Infraestrutura de testes

- Europa
 - ZalaZONE (Hungria), AstaZero (Suécia), Applus Idiada (Espanha), CARISSMA (Alemanha)
- EUA
 - American Center for Mobility (ACM), Mcity (Michigan)
- China
 - 50 Zonas Piloto para Veículos Conectados e Inteligentes
- Brasil
 - Campos de prova GM, Ford, Pirelli, ZF
 - IPT – Novo Laboratório de ITS e CPA em Mobilidade Sustentável e Segura

REGULAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL

- Projeto de Lei 1317/2023
 - Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro, para regulamentar os veículos autônomos terrestres, e dá outras providências.
- Projeto de Lei 3641/2023
 - Dispõe sobre as diretrizes para a circulação, operação e uso de veículos autônomos em todo território nacional e dá outras providências.

Ambos estão na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJC – 09-07-2025) da Câmara dos Deputados.

DESAFIOS DE SEGURANÇA E ADOÇÃO DA TECNOLOGIA

- Os veículos devem ser desenvolvidos e testados conforme a realidade local
- Os países devem desenvolver protocolos rígidos para verificação, validação e homologação dos veículos autônomos.
- A adoção à tecnologia não é automática, nem instantânea: haverá um tempo de maturação.
- As normas atuais deverão evoluir para contemplar o avanço da tecnologia.

Seria a experiência da aviação um caminho para garantia da segurança e aumento da adoção?





O FUTURO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL

COMO O BRASIL IRÁ SE PREPARAR?



- O Brasil possui desafios adicionais aos já apresentados:
 - Nossa infraestrutura viária é deficiente
 - Temos uma cultura de trânsito imprevisível
 - Custo elevado
 - Legislação e regulamentação
 - Infraestrutura de teste e homologação
 - Baixa industrialização e desenvolvimento tecnológico local
 - Segurança pública

O QUE JÁ EXISTE E O FUTURO DE CURTO PRAZO

- Mineração
 - Mina da Vale em Brucutu
- Agricultura
 - Desenvolvimento da Mercedes-Benz e da Grunner
- E-VTOL
 - Desenvolvimento da EVE (Embraer) de carro voador, que terá muita tecnologia autônoma embarcada.



DO QUE PRECISAMOS?



- Reindustrialização e investimento no desenvolvimento local
- Aumento do investimento nos Institutos de Ciência e Tecnologia e nas Universidades
- Formação de novos engenheiros com foco no futuro da mobilidade
- Aumento da capacidade de desenvolvimento de software de alta tecnologia
- Reafirmação da característica verde e sustentável da engenharia brasileira
- Desenvolvimento de infraestrutura de testes e validação de ADAS e VA

O que mais?





Obrigado!

- Douglas Bellomo Cavalcante
- dcavalcante@ipt.br



[linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)



[instagram.com/ipt_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)



[youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

www.ipt.br