

**WPLEX**

EFICIÊNCIA QUE  
MOVE PESSOAS



# Ônibus Autônomo: O Fim do Motorista?



# **Ônibus Autônomo: O Fim do Motorista?**



## Robotáxi: uma revolução em andamento

A ideia de um veículo autônomo, sem motorista, parece coisa de ficção científica. Mas essa realidade já existe, funciona e, o que é mais importante, funciona bem. Os táxis autônomos são, hoje, uma das manifestações mais maduras e impressionantes da automação de sistemas no cotidiano.

O segmento de táxis-robôs tem sido palco de uma verdadeira revolução, liderada pela Waymo — um projeto iniciado em 2009 pela Google.

Atualmente, a Waymo opera comercialmente em quatro cidades dos Estados Unidos. Após um programa experimental iniciado em 2017, em Phoenix

(Arizona), a primeira operação comercial para o público teve início em dezembro de 2020. Em seguida vieram São Francisco, Califórnia, em 2022, Austin (Texas), em 2023 e Los Angeles (Califórnia) em novembro de 2024.

A frota conta com mais de 700 veículos autônomos em operação comercial, com planos de adicionar mais 2000 até 2026.

A Waymo já acumulou mais de 40 milhões de quilômetros em modo totalmente autônomo e realizou mais de 10 milhões de corridas comerciais até 2024, tudo isso em tráfego urbano real, com todas as complexidades das grandes cidades americanas.

## Do Nível 0 ao 5: Entenda os graus de automação dos veículos

Para entender a capacidade do veículo da Waymo, deve-se conhecer a classificação dos níveis de automação veicular da SAE (Society of Automotive Engineers):

- 0** Nível 0 (Direção 100% manual). O veículo pode ter cruise control ou frenagem automática em casos de emergência.
- 1** Nível 1 (Assistência ao motorista): Controle de velocidade em cruzeiro ou a assistência de permanência na faixa (um ou outro). O motorista deve estar sempre atento.
- 2** Nível 2 (Automação parcial): Controle de velocidade e assistência de permanência na faixa, simultaneamente. O motorista deve estar sempre atento.
- 3** Nível 3 (Automação condicional): O sistema assume o controle total em condições específicas como em estradas e congestionamentos. O motorista deve estar presente e pronto para intervir.
- 4** Nível 4 (Alta automação): O veículo opera sozinho em rotas e áreas pré-definidas (geomapeadas em 3D). O motorista é desnecessário. Requer supervisão remota.
- 5** Nível 5 (Automação total): O veículo é totalmente autônomo e capaz de operar em todas as condições de direção que um motorista conseguiria.

A Waymo se destaca por operar no Nível 4 de automação - totalmente sem motorista.





## Tecnologia por trás do robotáxi

A superioridade da Waymo reside em sua tecnologia de automação:

### Sensores

LiDAR de quinta geração com alcance de 300 metros, 30 sensores por veículo, com alta redundância de sensores.

### Capacidade computacional

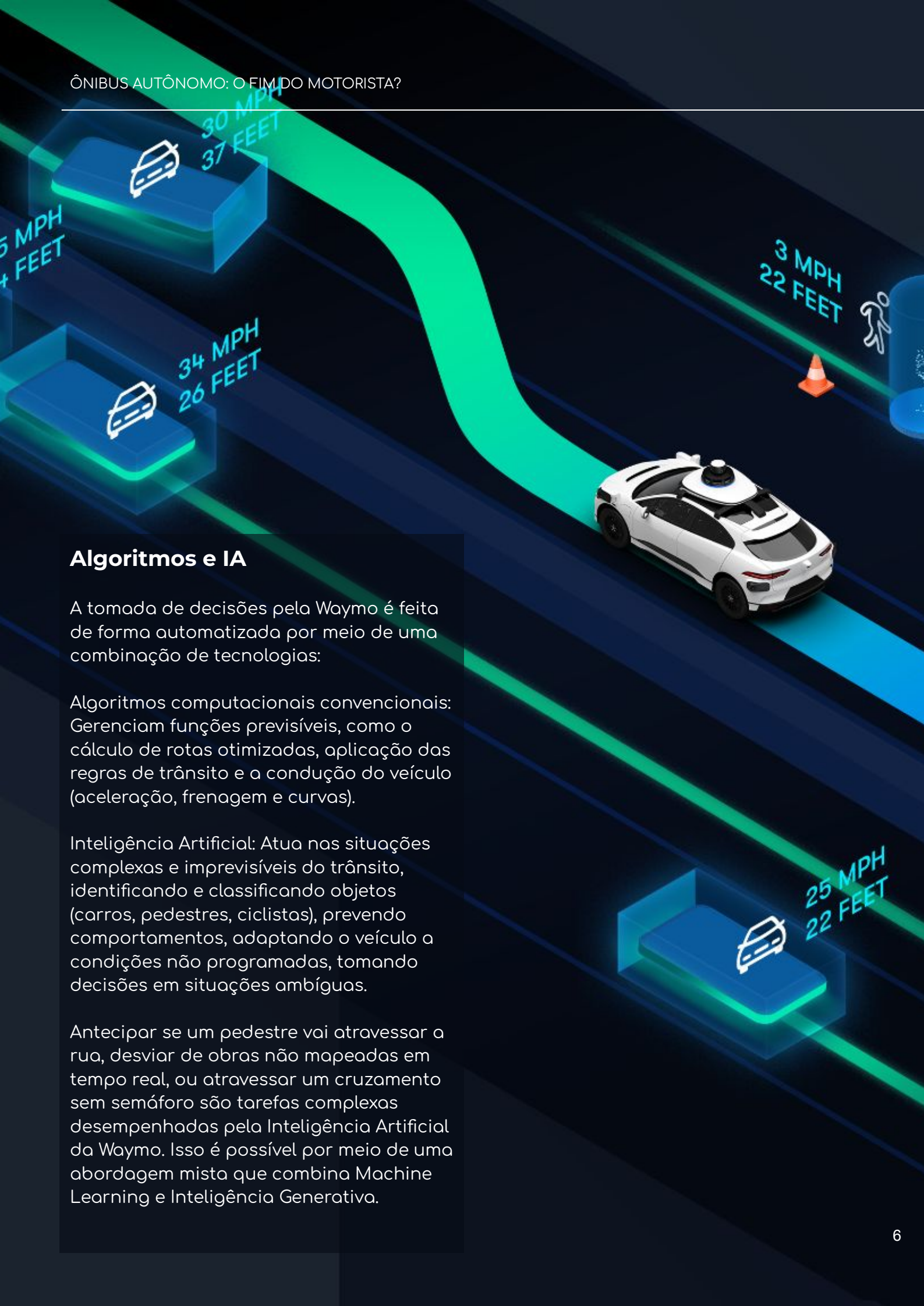
Processadores customizados com uma capacidade de processamento 3 a 4x superior aos de sistemas similares.

## Tecnologia de mapeamento

Mapas digitais em alta definição, com precisão centimétrica, atualizados continuamente.

### Sistema de IA

Treinado com mais de 40 milhões de quilômetros rodados e 32 bilhões de quilômetros simulados, capaz de identificar e classificar milhares de objetos, e de prever o comportamento do entorno.



## Algoritmos e IA

A tomada de decisões pela Waymo é feita de forma automatizada por meio de uma combinação de tecnologias:

**Algoritmos computacionais convencionais:** Gerenciam funções previsíveis, como o cálculo de rotas otimizadas, aplicação das regras de trânsito e a condução do veículo (aceleração, frenagem e curvas).

**Inteligência Artificial:** Atua nas situações complexas e imprevisíveis do trânsito, identificando e classificando objetos (carros, pedestres, ciclistas), prevendo comportamentos, adaptando o veículo a condições não programadas, tomando decisões em situações ambíguas.

Antecipar se um pedestre vai atravessar a rua, desviar de obras não mapeadas em tempo real, ou atravessar um cruzamento sem semáforo são tarefas complexas desempenhadas pela Inteligência Artificial da Waymo. Isso é possível por meio de uma abordagem mista que combina Machine Learning e Inteligência Generativa.

**88%** Menos ocorrências com danos materiais

**92%** Menos ocorrências com lesões corporais

Em 40 milhões de km

	Waymo
acidentes graves	0
danos materiais	9
lesões corporais	2

	Humano
acidentes graves	4
danos materiais	78
lesões corporais	26

## O motorista robô é mais seguro que o humano

A Waymo é líder em segurança operacional entre os sistemas autônomos comerciais, mantendo um histórico impressionante de zero acidentes graves em modo totalmente autônomo, embora incidentes menores, como paradas bruscas ou interferência de pedestres, ainda ocorram.

Ao longo dos 40 milhões de quilômetros percorridos, o sistema de condução da

Waymo demonstrou um nível de segurança muito superior em relação aos veículos dirigidos por humanos. Nessa mesma distância, a Waymo registrou apenas 9 ocorrências com danos materiais e 2 ocorrências com lesões corporais. Em comparação, considerando as estatísticas nas mesmas áreas, motoristas humanos estariam envolvidos em 78 ocorrências de danos materiais e 26 ocorrências de lesões corporais, nesse mesmo período, o que representa uma redução de 88% e 92%, respectivamente, para os veículos da Waymo.

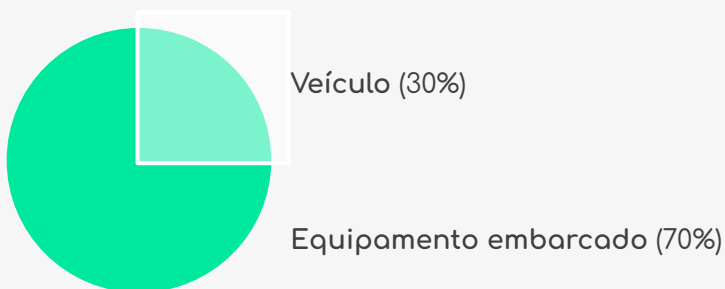
## Quanto custa um táxi-robô

O nível de tecnologia embarcada é alto. A Waymo utiliza um Jaguar I-PACE elétrico que custa aproximadamente US\$ 75.000. No entanto, o veículo equipado custa aproximadamente US\$ 250.000, sendo:

- Veículo: 30% (US\$ 75.000).
- Tecnologia de automação: 70% (US\$ 175.000), que inclui:
  - Sistema LiDAR: 20%.
  - Radares e câmeras: 10% .
  - Computadores: 15%.
  - Software e licenças: 12%.
  - Redundâncias: 8%.
  - Adaptações na carroceria, sistemas de refrigeração para computadores e interface para o passageiro: 5%.

Além do custo operacional do veículo, existem despesas significativas de retaguarda ou backoffice:

- Infraestrutura de mapeamento: 15 a 20% do custo total da operação, incluindo veículos de mapeamento 3D.
- Centros de operação remota: 10 a 15% do custo total, com instalações, equipamentos e pessoal de supervisão (1 supervisor para cada 10 a 20 veículos).
- Infraestrutura de TI: 12 a 15% do custo total.
- Pesquisa e desenvolvimento: 20 a 25% do custo total.



## Economia e payback da operação

Análises do setor indicam que o payback é estimado em 3 a 4 anos por veículo, sem considerar o investimento histórico feito para o desenvolvimento da solução. Em Phoenix, o ponto de equilíbrio operacional foi alcançado em pouco mais de 3 anos.

## Concorrentes

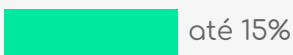
O mercado de veículos autônomos nos EUA conta com vários concorrentes,

destacando-se a Tesla. A montadora optou por uma solução baseada exclusivamente em câmeras, sem utilizar sensores LiDAR ou radar. Essa estratégia, que visa reduzir custos em comparação com sistemas mais complexos, como o da Waymo, parece apresentar limitações significativas em termos de segurança, com registros de centenas de colisões e pelo menos 17 fatalidades até 2024. Embora a Tesla ainda não ofereça um serviço comercial de táxi autônomo, anunciou que iniciará os testes em 2025.

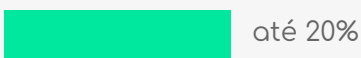
### Redução de Custos com Pessoal

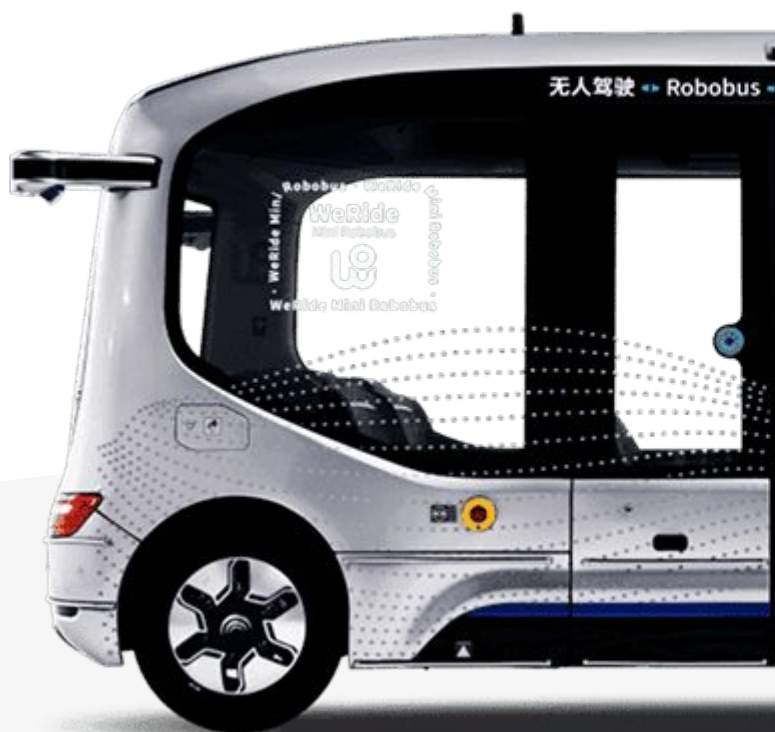


### Aumento da Eficiência Energética



### Redução de Custos com Manutenção





## O ônibus autônomo está vindo

Se o táxi-robô da Waymo demonstra capacidade da automação em pequena escala, os ônibus autônomos trazem essa tecnologia para o transporte de massa, com seus desafios e oportunidades.

Os ônibus autônomos utilizam uma base tecnológica similar à dos táxis-robôs, com adaptações devido ao maior porte do veículo e ao maior número de passageiros.

De modo similar ao táxi-robô, a implementação dos ônibus autônomos tem sido desafiadora, com diversos casos de insucesso no passado; projetos-piloto foram interrompidos devido a dificuldades de navegação em ambientes urbanos e imprevistos no trânsito.

Empresas como a Naveya, pioneira no setor, faliram após não conseguirem tornar a tecnologia comercialmente viável.

Atualmente, dezenas de empresas em mais de 30 cidades e 16 países desenvolvem projetos com ônibus autônomos. No entanto, é a chinesa WeRide que vem se destacando, posicionando-se como a futura "Waymo dos ônibus autônomos". A empresa possui mais de 1.200 veículos autônomos, entre táxis, vans de carga e ônibus.

A WeRide opera comercialmente uma frota de 200 micro-ônibus de 6, 8 e 10 passageiros no Nível 4 de automação SAE, em quatro cidades chinesas (Guangzhou, Shenzhen, Pequim e Wuhan), e em Valence, na França - em parceria com a Renault -, além de operações piloto em outras localidades.

# ÔNIBUS AUTÔNOMO: O FIM DO MOTORISTA?



## Futuro previsto pela UITP

Mais de 1,2 milhão de pessoas morrem anualmente em acidentes de trânsito no mundo, e 90% desses acidentes são causados por erro humano. Veículos autônomos poderiam praticamente eliminar essa tragédia.

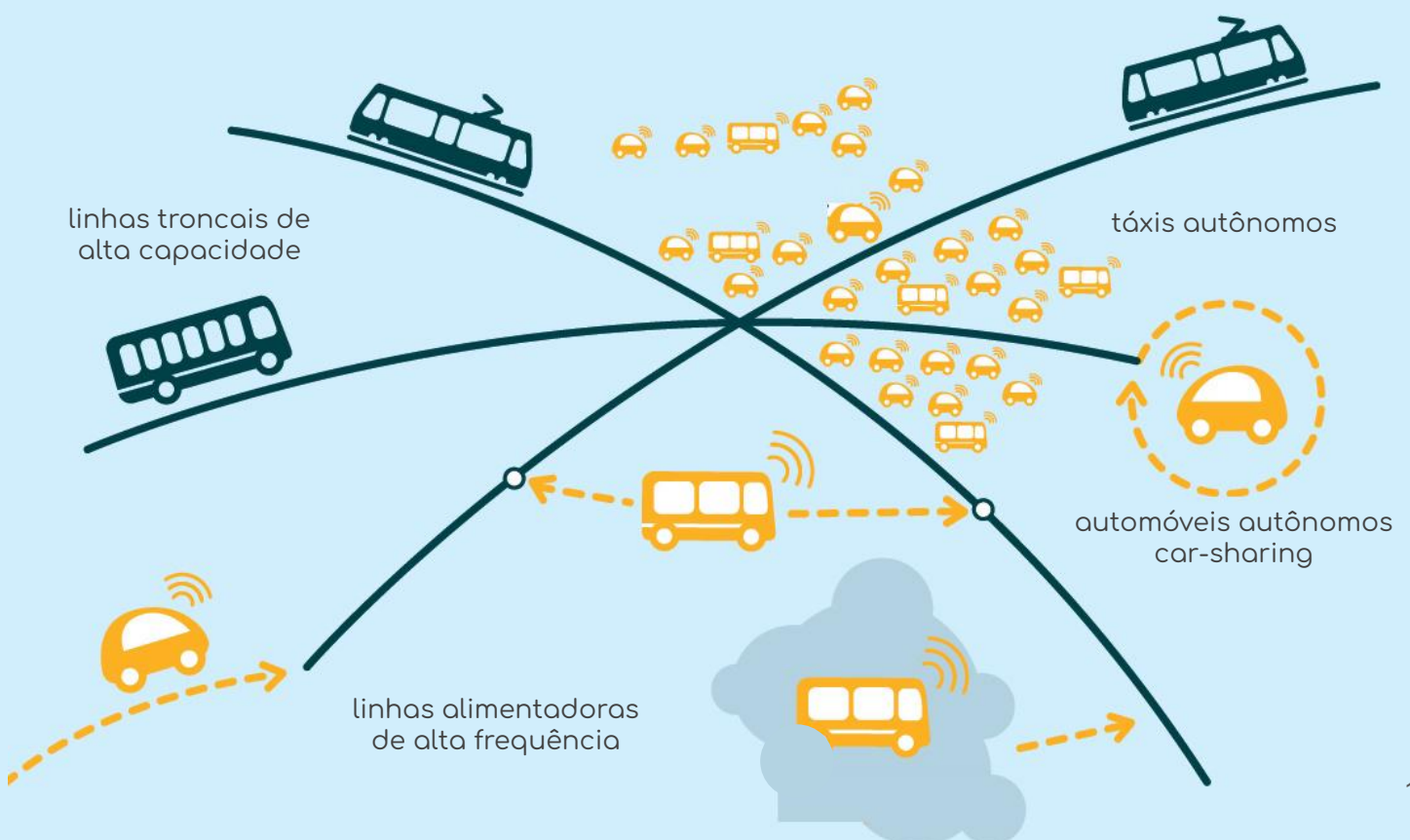
Em 2017, a Associação Internacional de Transporte Público (UITP) lançou um documento apresentando uma visão do futuro da mobilidade urbana com veículos autônomos.

O transporte público tradicional – ônibus, trens e metrô – continuará sendo a espinha dorsal da mobilidade urbana, principalmente em áreas densas onde movimentam grandes volumes de pessoas de forma eficiente. Mas é nos trajetos finais, na "última milha", que os veículos

autônomos podem brilhar. Pequenos ônibus sem motorista poderiam conectar estações de metrô a bairros residenciais, ou táxis-robô poderiam substituir viagens de carro particular.

Oito em cada dez carros desapareceriam das ruas. Todos teriam acesso ao transporte 24 horas por dia. O espaço hoje ocupado por estacionamentos se transformaria em parques, moradias populares ou centros comerciais.

Porém, há um detalhe crucial: os benefícios só se materializam se os veículos autônomos forem compartilhados e integrados ao transporte público de massa. Do contrário, o resultado pode ser exatamente o oposto – mais congestionamento, mais poluição e cidades ainda mais dependentes do automóvel.



## Caso brasileiro: Lume Robotics

A Lume Robotics, em parceria com a Marcopolo, criou, em 2022, o primeiro protótipo de micro-ônibus autônomo brasileiro. Com capacidade para 21 passageiros, o veículo opera no Nível 4 de automação SAE, utilizando tecnologias como LiDAR, câmeras, GPS de alta precisão e Inteligência Artificial para navegação. A iniciativa posiciona a Marcopolo e a Lume Robotics na vanguarda, buscando soluções disruptivas para o futuro do transporte.

### Tecnologia

O coração da Lume Robotics é o Sistema Lume de Mobilidade Autônoma, uma tecnologia proprietária que permite que veículos de médio e grande porte possam trafegar de modo autônomo, dispensando a necessidade de um ser humano no comando, na maior parte do trajeto.

### Condições extremas e de alto risco

Em ambientes de mineração, onde operadores humanos enfrentam condições extremas e riscos constantes, a remoção de operadores através dos veículos autônomos representa uma revolução em segurança ocupacional.





## Situações de falta de motoristas

A escassez de mão de obra em setores como mineração e logística tem limitado o crescimento de muitas empresas. As soluções da startup reduzem essa dependência, permitindo que as empresas mantenham operações eficientes mesmo em cenários de escassez de pessoal.

## Operações 24x7

Um dos projetos mais ambiciosos da Lume Robotics foi desenvolvido em parceria com a Suzano, líder mundial na produção de celulose. O primeiro caminhão elétrico autônomo sem cabine da América Latina foi projetado para transportar até 64 toneladas de celulose entre o armazém e o navio. A operação 24/7 sem interrupções otimiza o fluxo logístico, que aliada à propulsão elétrica, contribui para a redução dos custos operacionais.

1

### Riscos e acidentes

A automação reduz acidentes e aumenta a segurança

2

### Escassez de motoristas

A automação reduz a falta de mão de obra

3

### Custos

A automação reduz custos operacionais

## Conclusão

### O futuro do ônibus sem o motorista

Atualmente, mais de 6 mil empresas em todo o mundo estão envolvidas no desenvolvimento de tecnologias para veículos autônomos. Essa tecnologia já atrai o interesse de outros setores como agricultura, logística e varejo.

### Vantagens para o transporte público

À medida que as empresas operadoras reduzem sua dependência de condutores humanos, abrem-se as portas para um aumento significativo nas taxas de utilização da frota. O ônibus autônomo trará menor risco de acidentes de trânsito e menor custo operacional. Além disso, poderá operar por períodos muito mais longos, sem limitações de jornadas, pausas ou intervalos de refeição. A operação contínua otimiza o uso da frota, maximizando o retorno sobre o investimento. O ônibus autônomo permitirá não apenas uma melhor experiência para o cliente e maior disponibilidade de serviço e horários, mas também impulsionará a atratividade do

transporte público, tornando-o uma opção mais competitiva e moderna para os passageiros.

### Conduzindo a mudança

A transição para essa realidade não será isenta de desafios, especialmente no Brasil. A extinção da função do motorista, embora traga benefícios operacionais, levanta sérias questões sociais, pois a requalificação desses profissionais será um obstáculo maior do que foi com os cobradores. Além disso, prioridades mais imediatas, como a adaptação da frota ao padrão Euro 6 e a aquisição de ônibus elétricos, somadas à crônica falta de subsídio ao transporte público, indicam que a adoção em larga escala de veículos autônomos no Brasil ocorrerá de forma mais gradual e focada em projetos-piloto.

A pressão por modernização torna improvável que o modelo atual permaneça o mesmo para sempre. A questão não é se os ônibus autônomos se tornarão realidade, mas sim como os operadores de transporte público poderão se adaptar para navegar com êxito nessa transformação.



### **WPLEX Software**

*A WPLEX é uma empresa catarinense líder em soluções inovadoras para a otimização da operação de sistemas de transporte público. Nossas tecnologias abrangem desde a otimização de horários e escalas até o monitoramento de frotas e informação ao passageiro, garantindo uma operação precisa e eficaz.*

*Temos orgulho de ajudar a movimentar milhões de pessoas diariamente em diversos estados do Brasil, evidenciando nosso compromisso com a eficiência que move pessoas.*



WPLEX Software  
wplex.com.br | contato@wplex.com.br

