



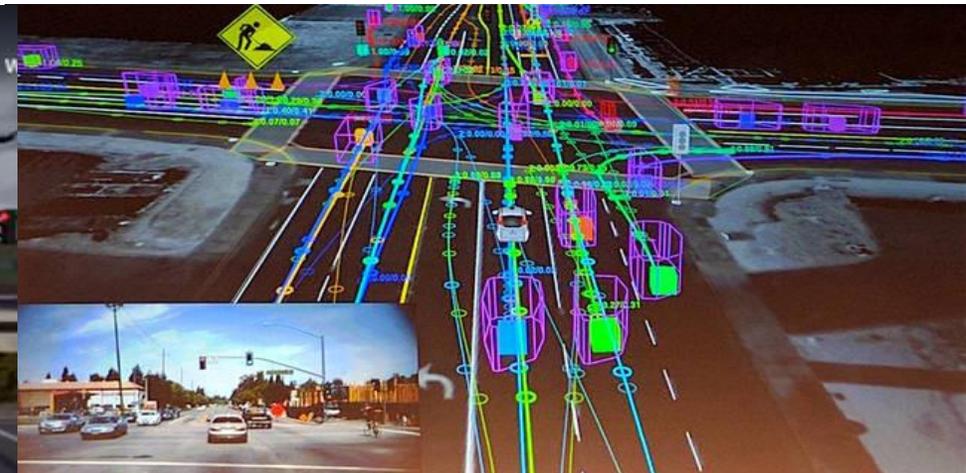
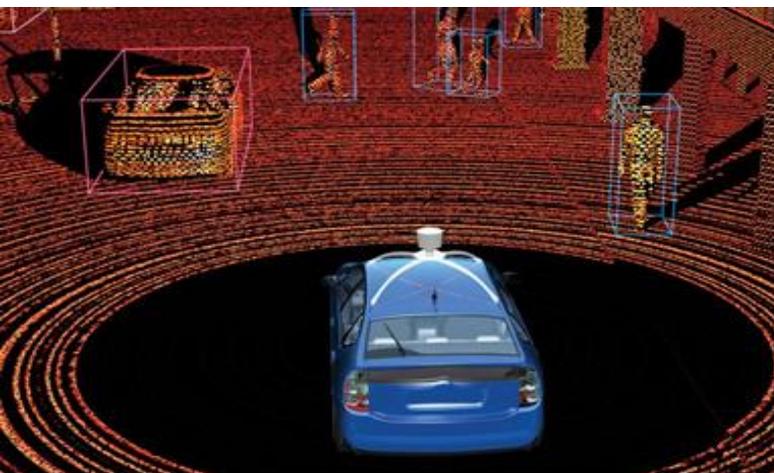
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica
PSI5121 Sistemas Automotivos



Módulo Veículos Autônomos

Aula 2 – Sensores, Hardware e Software

Prof. Leopoldo Yoshioka
27 Junho de 2023



Na aula 1 buscamos responder:

- Quais são os tópicos mais quentes que o engenheiro de veículos autônomos deve conhecer?
- Quais são as principais taxonomias relacionadas com veículos autônomos?
- O que é a percepção?
- Como é o processo de planejamento e tomada de decisão?

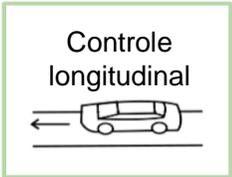
Recapitulando – níveis de automação



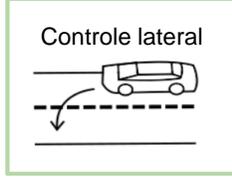
Condução manual, sem automação



Assistência à condução:



Controle longitudinal

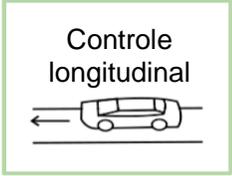


Controle lateral

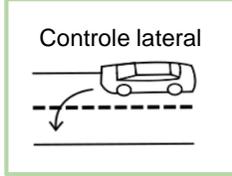
(uma das funções)



Automação parcial:



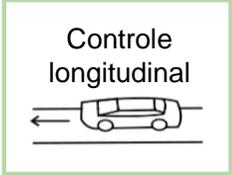
Controle longitudinal



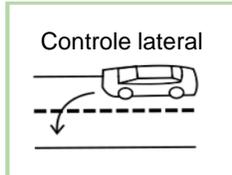
Controle lateral



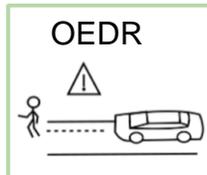
Automação condicional:



Controle longitudinal



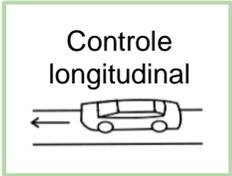
Controle lateral



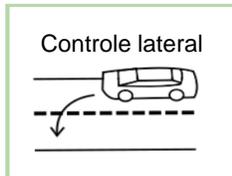
OEDR



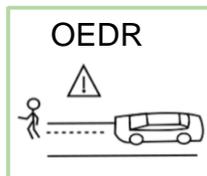
Automação elevada:



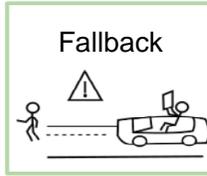
Controle longitudinal



Controle lateral



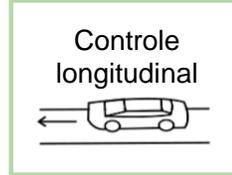
OEDR



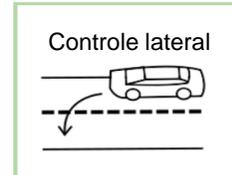
Fallback



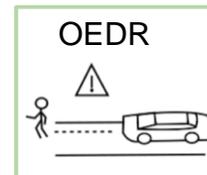
Automação completa:



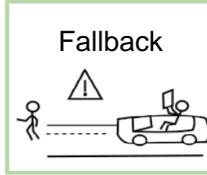
Controle longitudinal



Controle lateral



OEDR



Fallback



ODD irrestrito

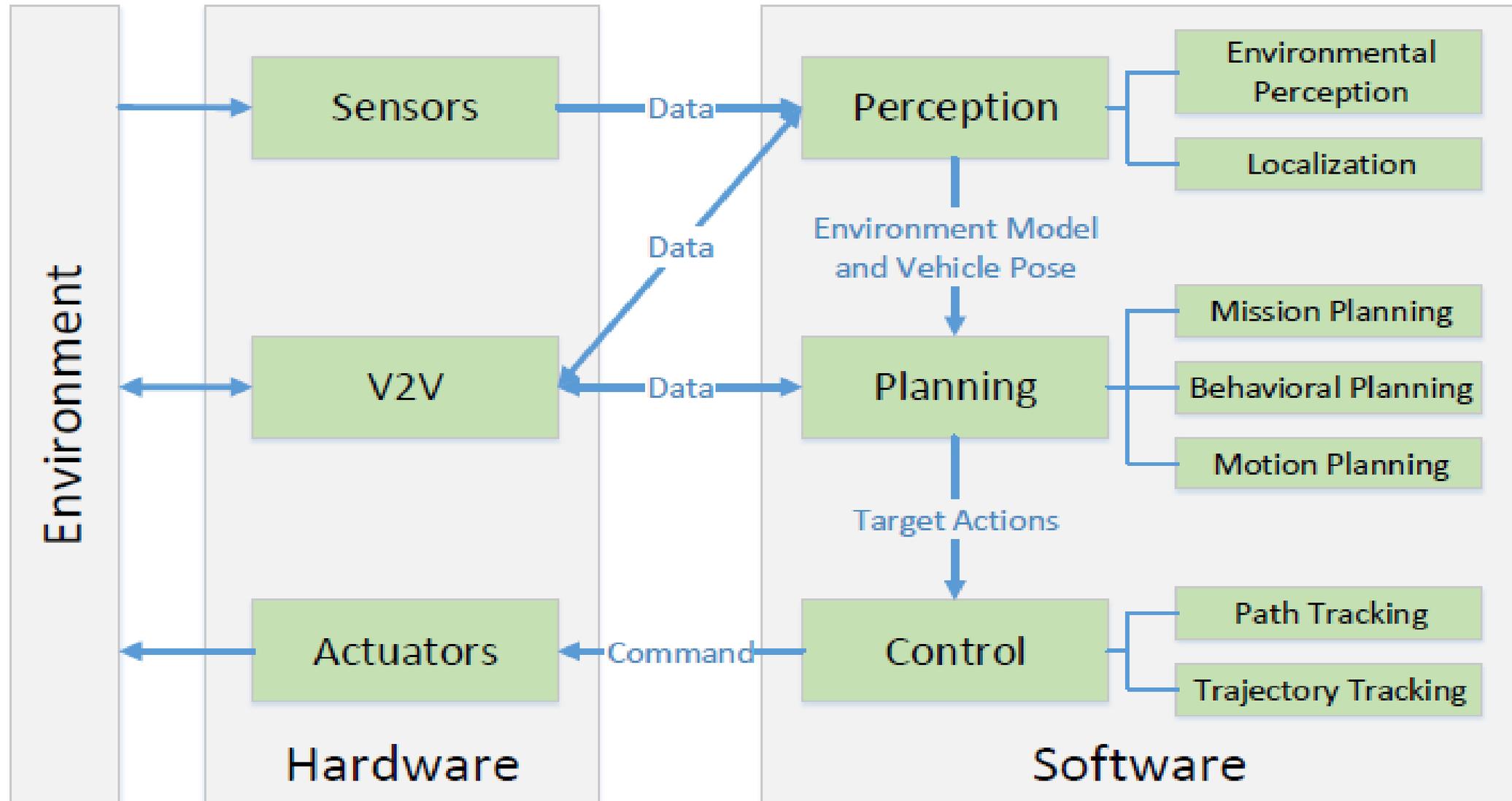
Os objetivos da Aula 2 são os seguintes:

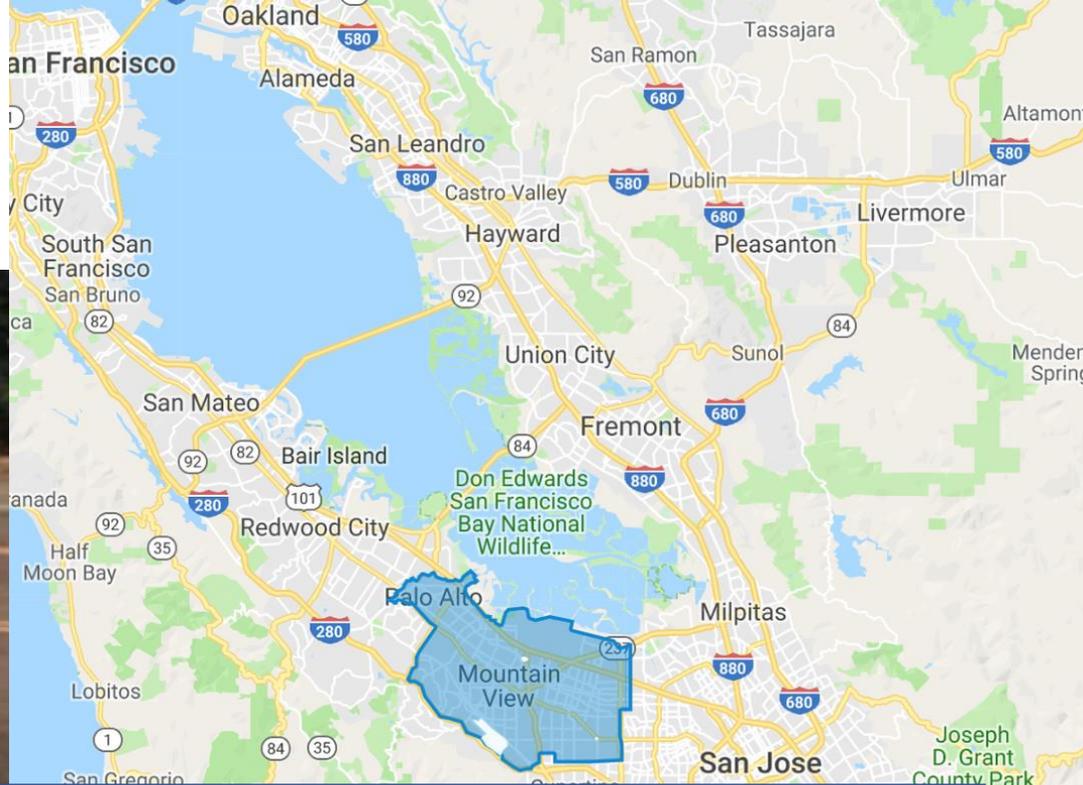
- Especificar os **sensores de percepção** do veículo autônomo
- Analisar a **configuração de Hardware** do veículo autônomo
- Analisar a **arquitetura de Software** do veículo autônomo

Parte 1 - Sensores

- Arquitetura geral do veículo autônomo

Arquitetura geral de um veículo autônomo



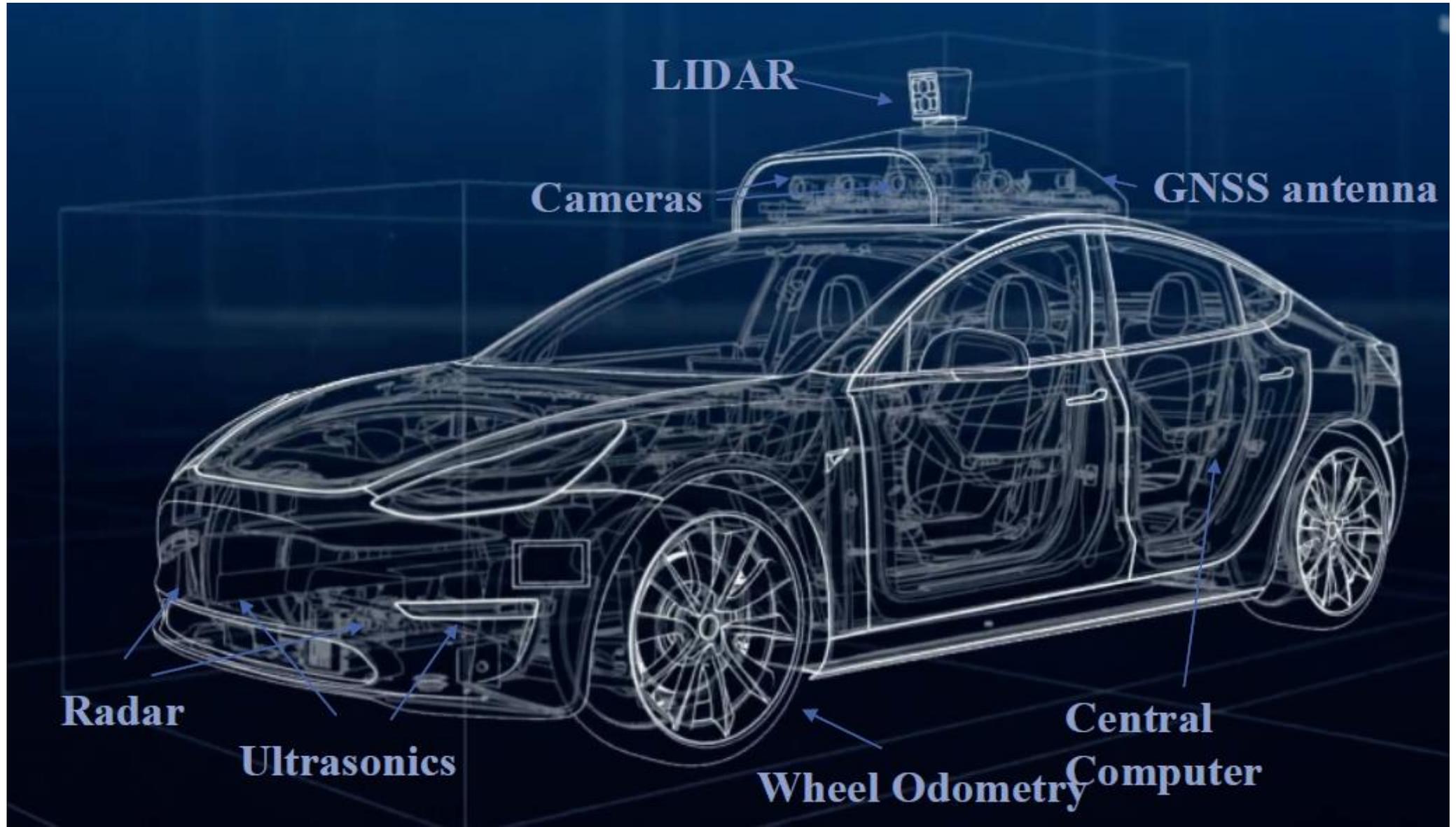


Execício 1: explorar a região destacada no mapa com o Street View e observar a qualidade da via, intersecções, semaforização e sinalizações.

Waymo tem a permissão do DMV da Califórnia para operar no modo “*full driverless car*” em Mountain View, Sunnyvale, Los Altos, Los Altos Hills e Palo Alto. Essa região foi escolhida por ficar próximo do **Google X Lab** e a sede do Alphabet. A permissão inclui operação diurna e noturna e velocidade máxima de 104 km/h. No Estado da Califórnia, atualmente existem 60 empresas realizando testes com 300 veículos autônomos que possuem a licença do DMV. (Diverge, 2018: <https://www.theverge.com/2018/10/30/18044670/waymo-fully-driverless-car-permit-california-dmv>)

Quiz 1: Quantos tipos de sensores embarcados de percepção este em este Veículo Autônomo ?

6 tipos de sensores embarcados para a percepção



6 tipos de sensores embarcados para a percepção

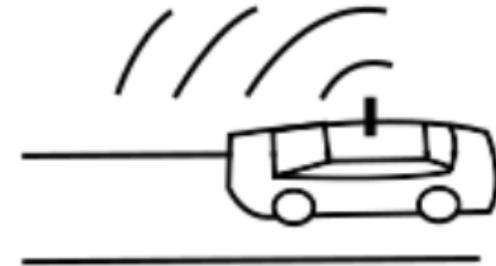
Camera



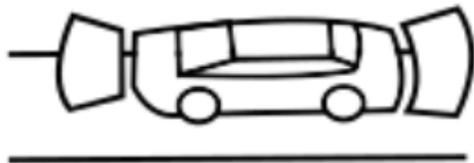
LIDAR



RADAR



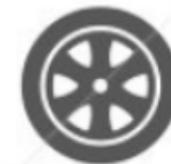
Ultrasonics



GNSS/IMU



Wheel
Odometry



Sensor de percepção

CÂMERA

Camera



(JABIL OPTICS)



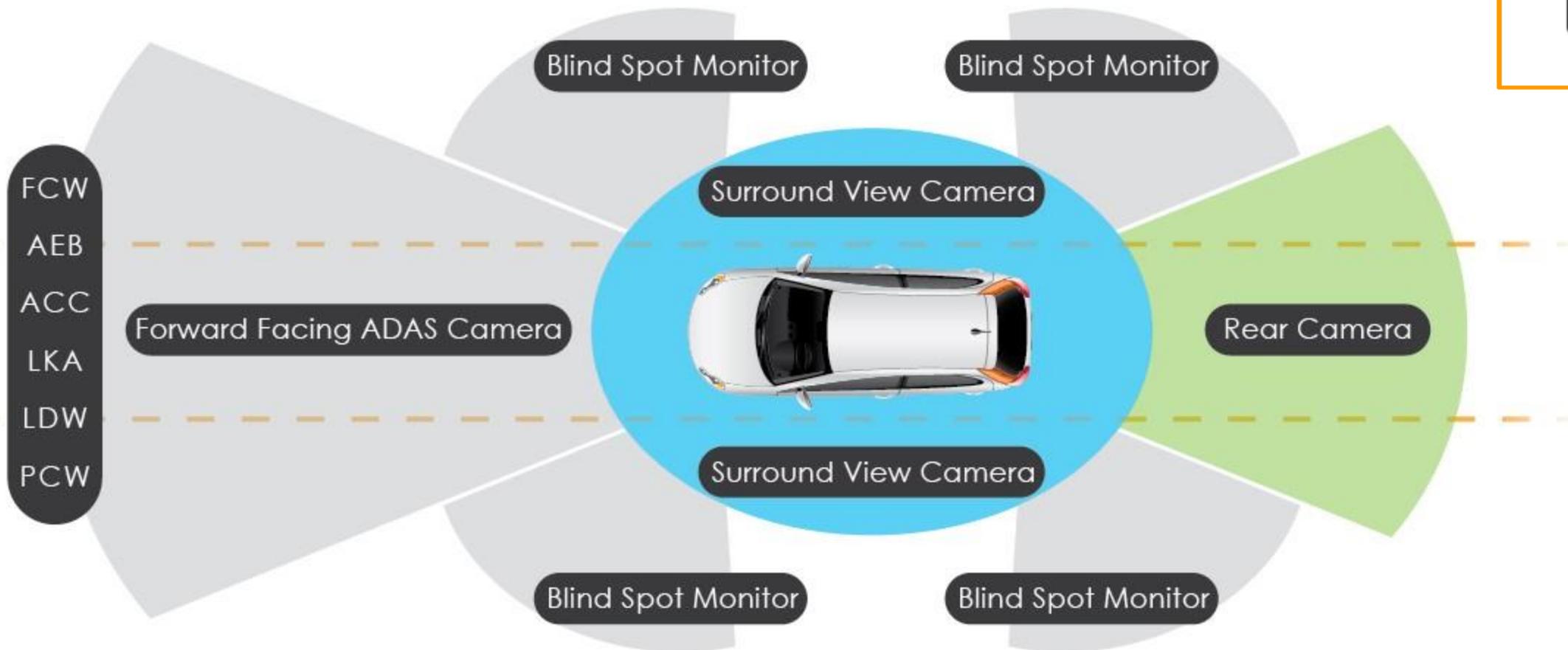
Mono Camera
(Continental)



Stereo Camera
(Continental)

Tipos de Câmeras

Camera



(JABIL OPTICS – AUTOMOTIVE CAMERAS)

Funcionalidades de Segurança

Camera



- Forward collision warning (FCW)
- Lane departure warnig (LDW)
- Lane keeping assist and Centering (LKA/LC)
- Traffic sign recognition (TSR)
- Intelligent heading control (IHC)
- Automatic Emergency Braking (AEB)
- Traffic Jam Assist (TJA)
- Pedestrian collision warning (PCW)
- Eletronic mirror replacement (blind spot monitoring)

(JABIL OPTICS – AUTOMOTIVE CAMERAS)

1. CÂMERA

Camera



- É um sensor essencial para perceber corretamente o ambiente
- Parâmetros de especificação:
 - Resolução (número de pixels)
 - Mono ou estéreo
 - Campo de visão (FOV)
 - Faixa dinâmica (nível de contraste entre preto e o branco)

Características técnicas da câmera:

- Sensor de imagem CMOS – HD com 1 a 2 megapixels
- Mono ou estéreo
- 4 a 8 câmeras gera uma visão 360°
- Faixa dinâmica superior a 130 dB (imagem clara mesmo contra luz)
- Codificação 24bits com interface para Processador de Imagem (ISP)
- Taxa de aquisição de 30 quadros/s
- ECU centralizado para processamento de imagem
- Compressão H.264 de baixa latência

Camera



Funcionalidades:

- Identificar trajetória
- Detectar obstáculos
- Classificação de objetos

Arquitetura centralizada do sistema de captura de imagens

Camera



- Captura de imagem
- Compressão de imagem
- Vídeo streaming

Cameras



- Decodificação de imagem
- Correção da lente
- Transformação top-view
- Transcodificação do vídeo streaming
- Overlay
- Image streaming

Camera ECU



- Decodificação de imagem
- Agregação da imagem
- Image display

Computador Central

Exemplo de smart camera utilizado em V.A.

- 132dB HDR Imager (Vx6640)
 - 1280x960, up to 60fps
- Companion Chip (STV0991)
 - ARM R4 @ 500MHz
 - No external RAM/Flash
 - AutoSAR, FreeRTOS, SafeRTOS*
 - HDR ISP and adv. graphics processor
 - MJPEG, H.264 (Profile Level 4.1)
 - HW-timestamp, 802.1AS-2011, 802.1Q-2011
 - Transport Protocols (incl. HW-timestamp)
 - RTP over UDP (RFC 3550)
 - RTP A/V over UDP (RFC 3551)
 - AVTP (IEEE 1722a)
 - Built-in Video Analytics
 - Optical Flow
 - Edge Detection



(Fierce Electronics)

Camera

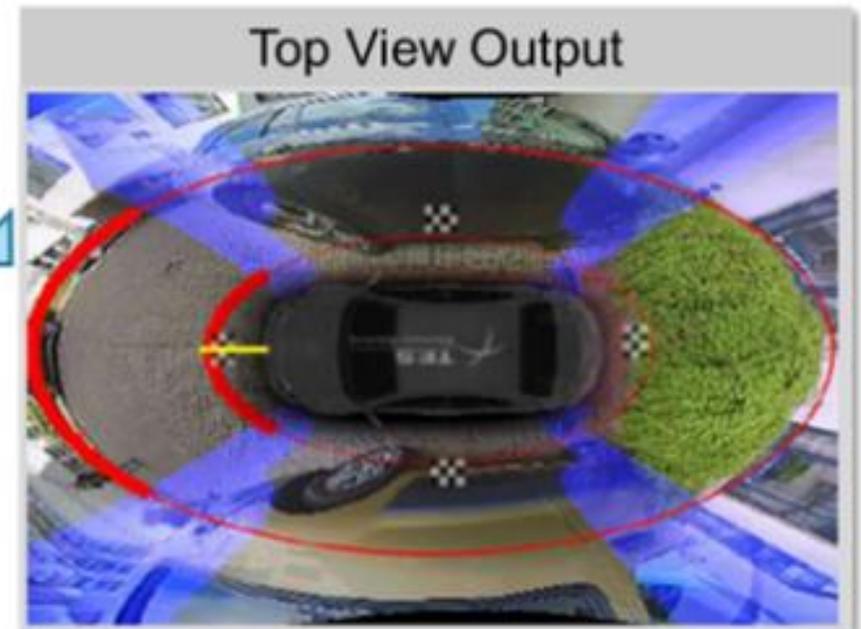
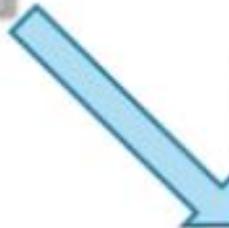
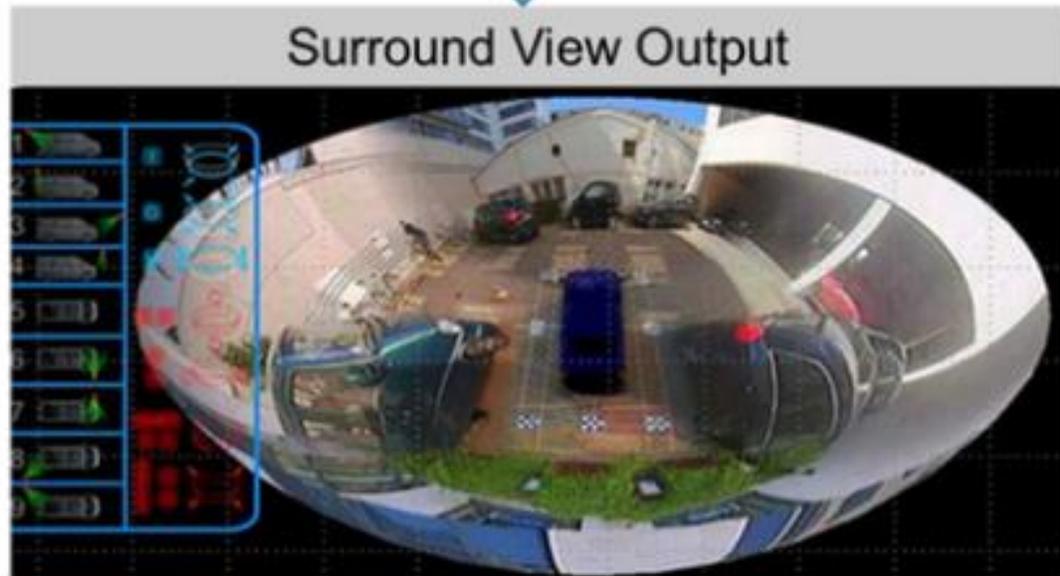


FoV para câmeras de média distância: **70° a 120°**

FoV para câmeras de longa distância: **~35°**

Exemplo de *merge* de sinais de vídeo de quatro câmeras para produzir uma visão 360°

Camera



(TES Electronic Solution)

Aplicação das câmeras frontais

Camera



- Cobrem distâncias médias e longas (**100 a 250** metros)
- Possuem algoritmos para detectar automaticamente objetos, classificar e determinar a distância
- Podem identificar pedestres e ciclistas, carros, faixas, pilares de pontes, e bordas das vias. Alguns algoritmos são capazes de reconhecer sinalização de tráfego e semáforos.
- Câmeras para **médias distâncias** são usadas para detectar tráfegos transversais, pedestres, acionar freios em situação de emergência, reconhecer faixas e semáforos
- Câmeras para **longa distância** são usados para reconhecer sinalizações de trânsito, controle de distância com o carro à frente e controle de guiagem.

MFC500 - Continental



Technical Specifications

- Dimensions: 88 x 70 x 38mm
- Mass: < 200g
- Field of View: hor. up to 125° (effective) / vert. up to 60° (effective)
- Temperature Range: -40° up to +95° (full operational)
- Power Dissip.: <7 W
- Supply Voltage: 12V

Demonstração Tesla AUTOPILOT (2min)



<https://www.youtube.com/watch?v=tIThdr3O5Qo>

LINKS para explorar

http://www.mcnex.com/eng/page/sub2_02.html

<https://www.ambarella.com/applications/automotive/>

<http://www.ti.com/lit/ug/tiducr4a/tiducr4a.pdf>

<https://www.foresightauto.com/quadsight>

<https://www.samsung.com/semiconductor/minisite/exynos/products/automotiveprocessor/exynos-auto-v9/>

<https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-processors/s32v2-vision-mpus-/vision-processor-for-front-and-surround-view-camera-machine-learning-and-sensor-fusion:S32V234>

<https://www.qualcomm.com/products/qualcomm-snapdragon-602-automotive-platform>

<https://www.renesas.com/eu/en/solutions/automotive/soc/r-car-h3.html>

<https://www.nhtsa.gov/equipment/driver-assistance-technologies>

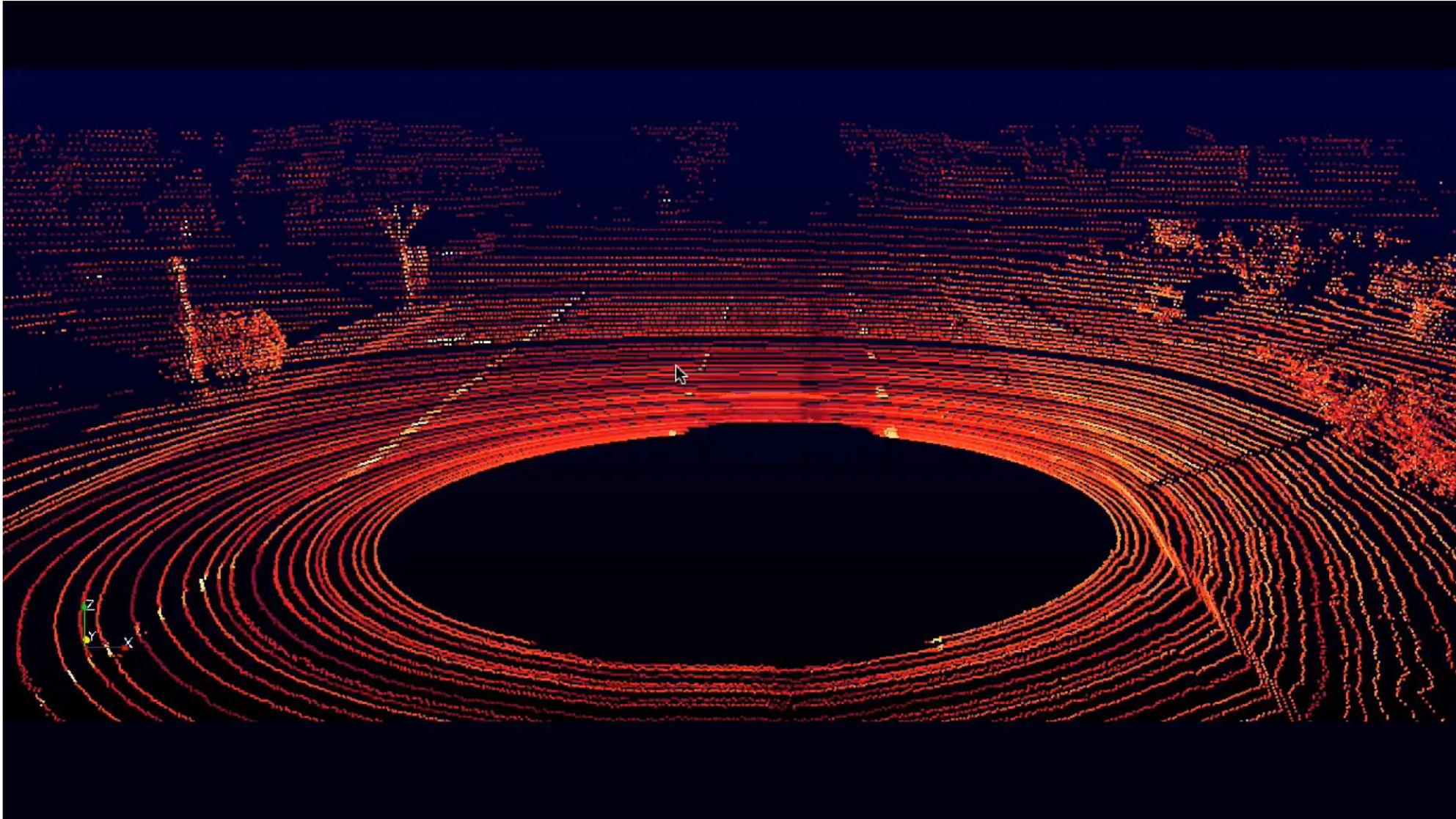
Sensor para percepção LIDAR

LIDAR



Demonstração – LIDAR - Sensor para percepção (2min)

LIDAR



https://www.youtube.com/watch?time_continue=20&v=VoMhX1et7Yo

Sensor para percepção - LIDAR

LIDAR



- **L**ight **I**maging, **D**etection **A**nd **R**anging
- Emite feixe de laser que é refletido de volta quando encontra um objeto
- Mede a distância de objetos estacionários e em movimento
- Constrói uma imagem tri-dimensional (3D) dos objetos detectados
- Utiliza um detector extremamente sensível capaz de medir a luz refletida
- O estado da arte na tecnologia de detecção utiliza o diodo SPAD (Single-Photon Avalanche Diode)

Principle

1. Emit pulsed IR light



Emitter

Photon

2. Sense reflected signal

Sensor

Target

(Gert Rudolph, 2017)

distance

Measured distance

=

Photon travel time

2

x

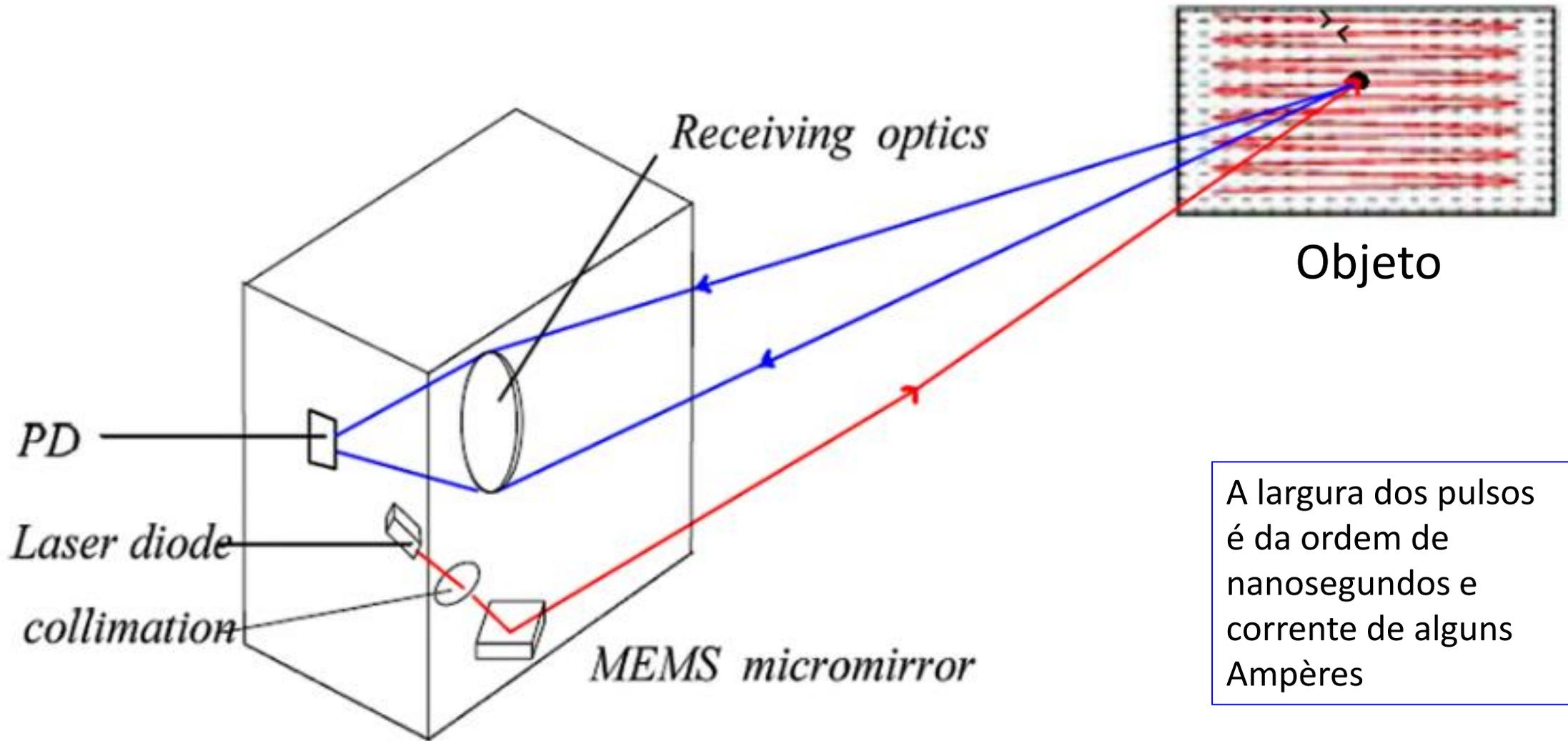
Speed of light

LIDAR



(Gert Rudolph, 2017)

Principais elementos do LiDAR



LiDAR baseado na tecnologia do micro espelho MEMS

Exemplo de especificação de LiDAR – HDL-64E



- 5 – 20 Hz *frame rate*
- 2.2 *million points per second*
- 64 *lasers/detector*
- 360 *degree field of view*
- 0.08 *degree angular resolution*
- 2 *cm distance accuracy*
- 50 *m range for pavement*
- 120 *m range for cars*
- Laser: 905 nm, ~ 10 ns *pulse*
- 300 – 1200 *RPM spin rate*

(mid to long range)

Sensor	HDL-64E	HDL-32	Puck	Puck LITE	Puck Hi-Res	Puck 32MR	Ultra Puck	Alpha Puck
								
Range	Up to 120m	Up to 100m	100m	100m	100m	120m	200m	Up to 300m ⁵
Range Accuracy	Up to ±2 cm (Typical) ⁴	Up to ±2 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹	Up to ±3 cm (Typical) ¹
# of Lines	64	32	16	16	16	32	32	128
Horizontal FoV	360°	360°	360°	360°	360°	360°	360°	360°
Vertical FoV	26.9°	41.33°	30°	30°	20°	40°	40°	40°
Horizontal Resolution	0.08° – 0.35°	0.08° – 0.33°	0.1° – 0.4°	0.1° – 0.4°	0.1° – 0.4°	0.1° – 0.4°	0.1° – 0.4°	0.1° – 0.4°
Vertical Resolution	0.4°	1.33°	2.0°	2.0°	1.33°	0.33° (min)	0.33° (min)	0.11° (min)
Points Per Second (Single Return Mode)	~ 1,300,000	~ 695,000	~ 300,000	~ 300,000	~ 300,000	~ 600,000	~ 600,000	~ 2,400,000
Points Per Second (Dual Return mode)	~ 2,200,000 ⁵	~ 1,390,000	~ 600,000	~ 600,000	~ 600,000	~ 1,200,000	~ 1,200,000	~ 4,800,000
Refresh Rate	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz
Operating Voltage	12V - 32V	9V – 18V	9V – 18V	9V – 18V	9V – 18V	10.5V – 18V	10.5V – 18V	9V – 28V
Power Consumption	60 W (Typical) ²	12 W (Typical) ²	8 W (Typical) ²	8 W (Typical) ²	8 W (Typical) ²	10 W (Typical) ²	10 W (Typical) ²	< 30 W (Typical)
Weight (without cabling)	~ 28 lbs. (12.7 Kg)	~ 1.0 kg	~ 830 g	~ 590 g	~ 830 g	~ 925 g	~ 925 g	~ 3.5 kg
Operating Temp	-10°C to +60°C ³	-10°C to +60°C ³	-10°C to +60°C ³	-10°C to +60°C ³	-10°C to +60°C ³	-20°C to +60°C ³	-20°C to +60°C ³	-20°C to +60°C ³
Storage Temp	-40°C to +85°C	-40°C to +105°C	-40°C to +105°C	-40°C to +105°C	-40°C to +105°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Output	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet	UDP packets over Ethernet
Ethernet Connection	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	1000 Mbps
GPS Timesync	\$GPRMC	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA	\$GPRMC + \$GPGGA
Laser	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe	903nm Class 1 eye safe
Water Resistance	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67



Velodyne LiDAR

ULTRA Puck

High Resolution Real-time LiDAR for Autonomous Systems

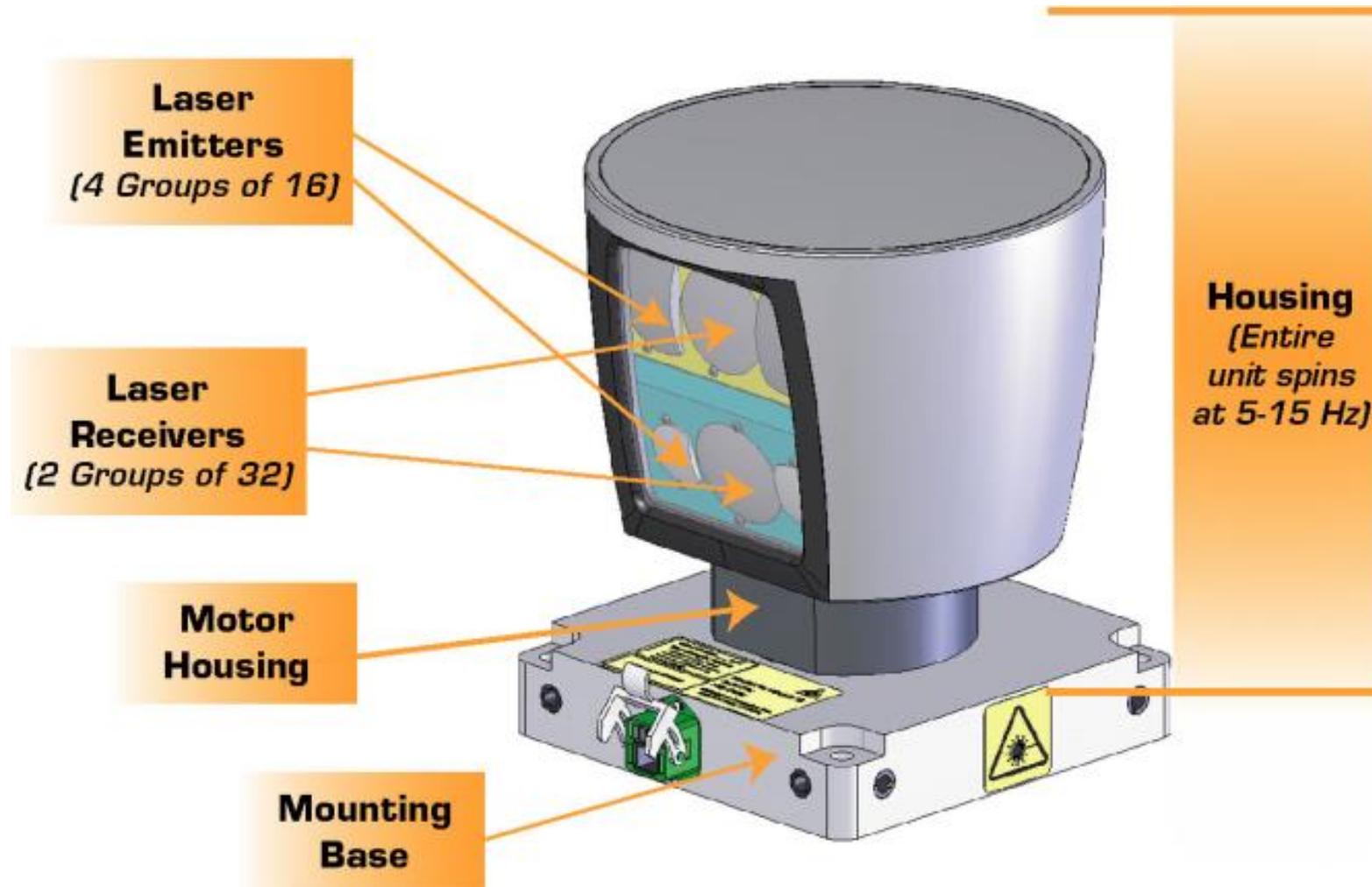
- Campo de visão (FoV) horizontal de **360°**
- Campo de visão vertical de **40°** (-25° a 15°)
- Alcance de **200m**
- Resolução vertical de **0,33°**
- Resolução horizontal (azimuth): **0,1° a 0,4°**
- **32 canais**
- Precisão de medição de distância: **± 3cm**
- Frame rate: **5Hz a 20Hz**
- Conexão Ethernet: **100Mbps**
- Protocolo: **UDP**

- Consumo: 10W
- Alimentação: 10,5 a 18V
- Dimensões: **100mm x 87mm**
- Peso: 925g
- Encapsulamento: IP67
- 3D Datapoints:
 - 600.000 (single return mode)
 - 1.200,000 (dual return mode)

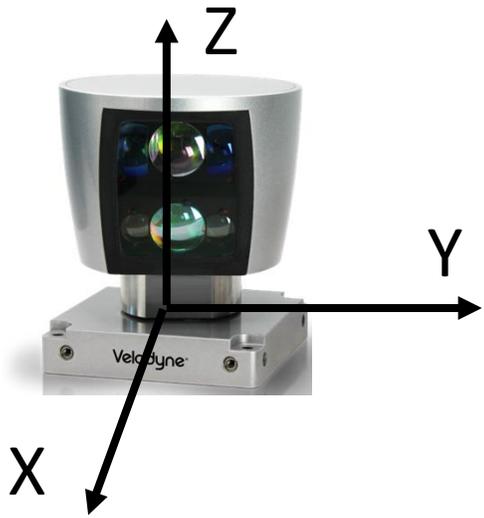
<https://velodynelidar.com/vlp-32c.html>

LiDAR

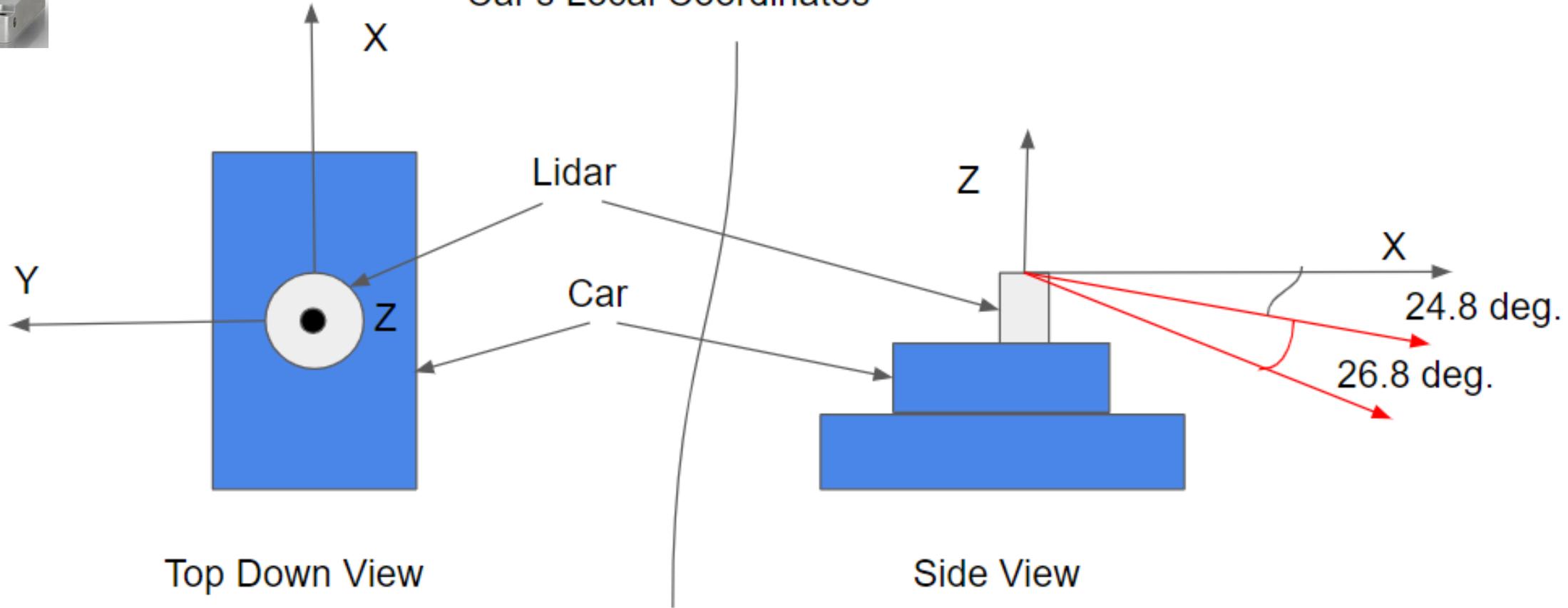
- Transmite milhares de feixes de laser em ângulos diferentes
- A luz laser é emitida, refletida pelo obstáculo, e, em seguida, detectada pelo receptor
- A transmissão do laser e recepção gera uma diferença de tempo, calcula a distância
- As propriedades dos materiais pode ser avaliada a partir da intensidade da luz do laser refletido



Sistema de Coordenadas do LiDAR



Lidar Coordinate System, same as Car's Local Coordinates



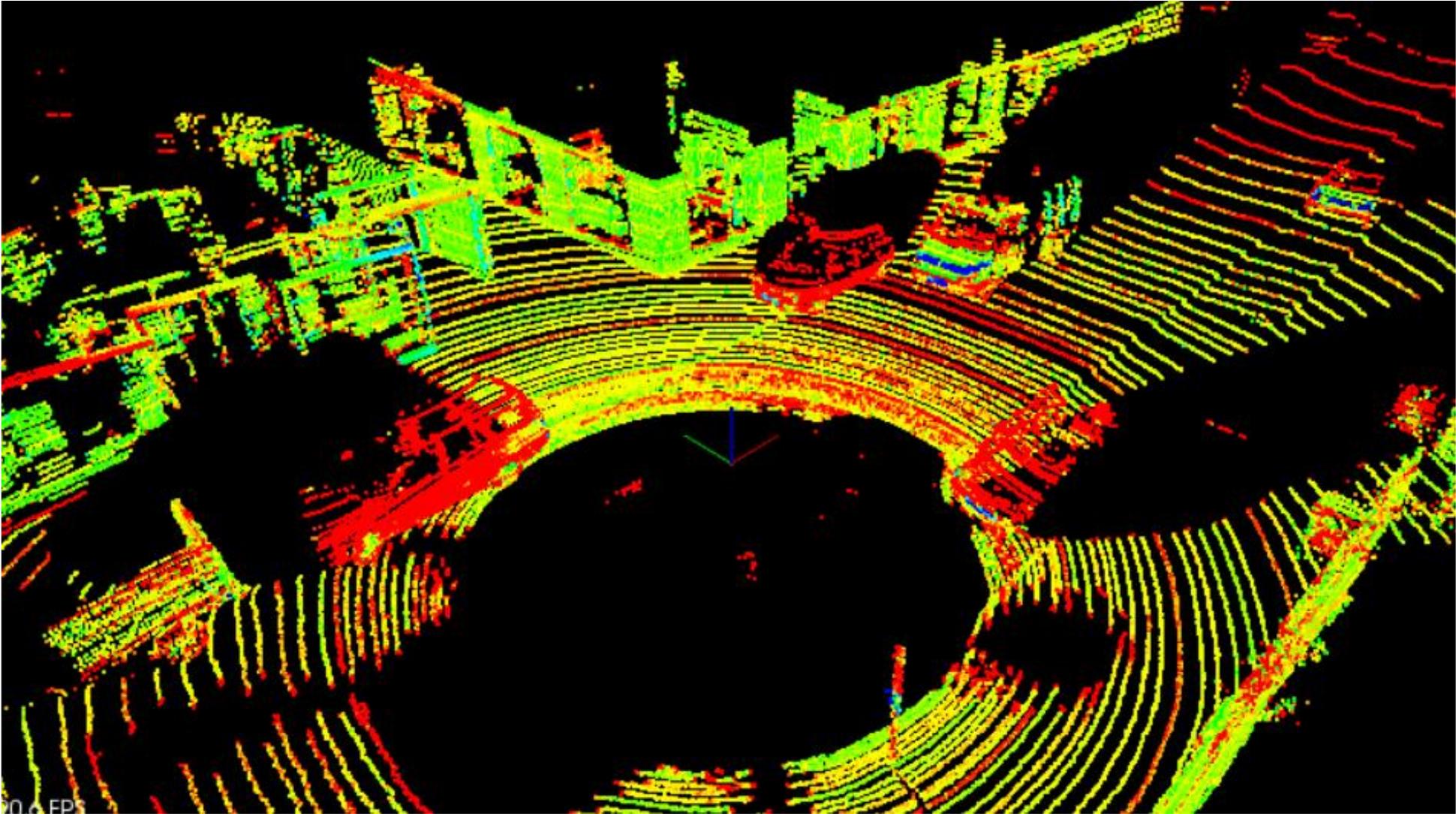
Etapas de processamento dos dados do LiDAR



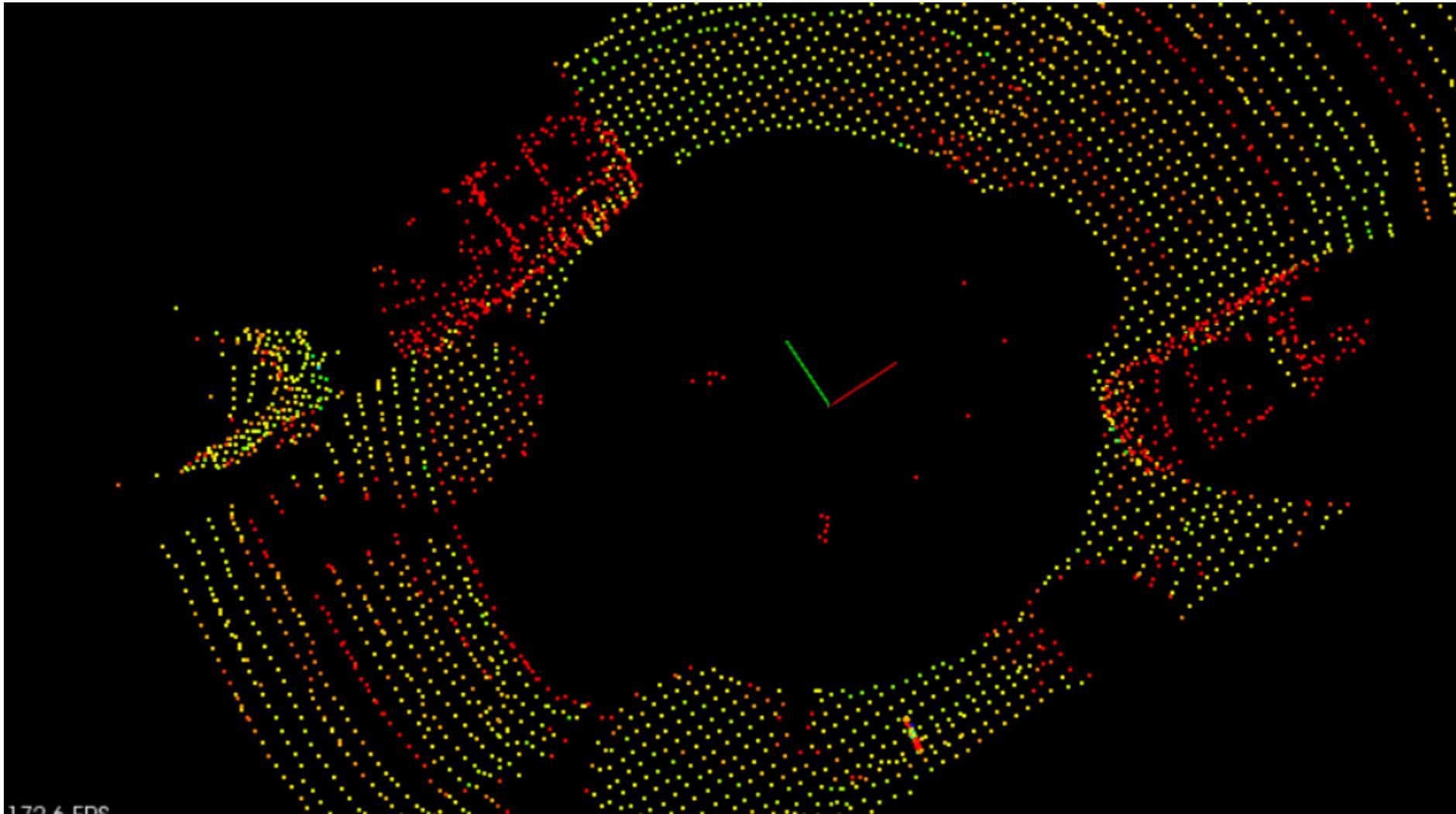
Dados PCD (Point of Cloud):

- Os dados do LiDAR são armazenados em forma de conjunto de nuvem de pontos (PCD) num arquivo com uma lista de coordenadas cartesianas (x,y,z) e valores de intensidade.
- É uma fotografia 360 graus do ambiente em do VA. Um arquivo PCD terá aproximadamente 256.000 pontos (x,y,z,i)

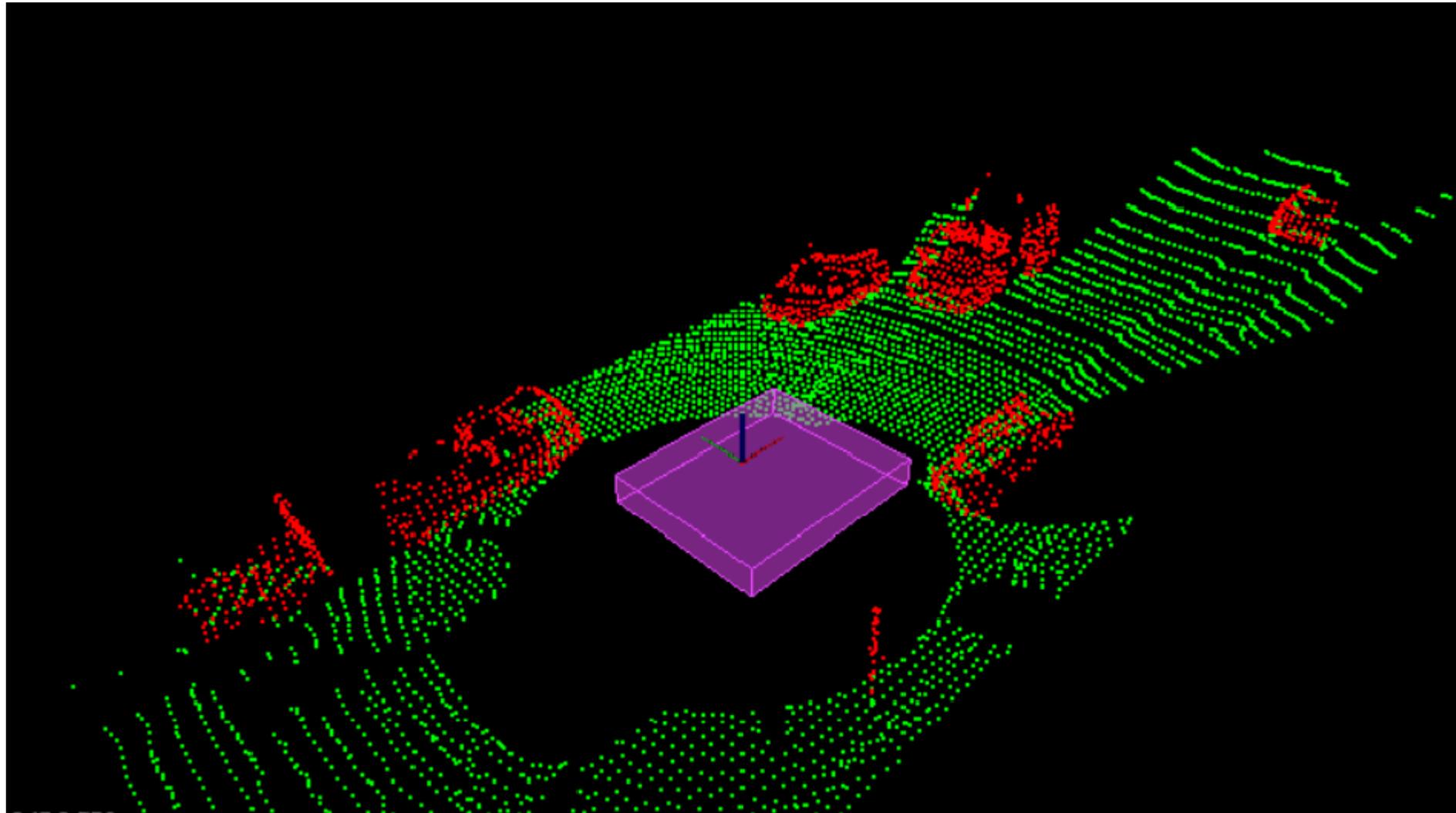
Passo 1. Captura de dados PCD (real)



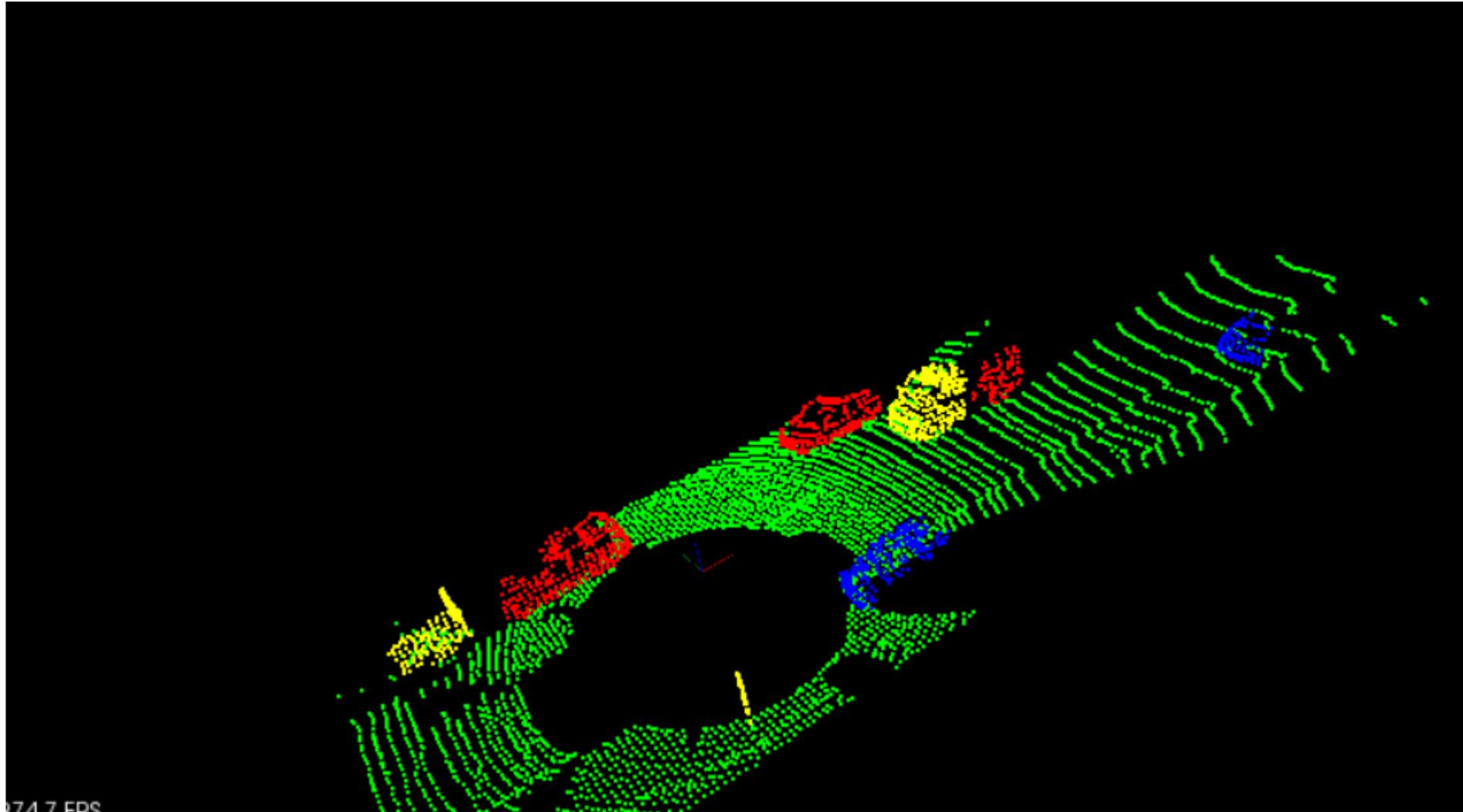
Passo 2. Filtragem de dados PCD (voxel grade) → Região de interesse



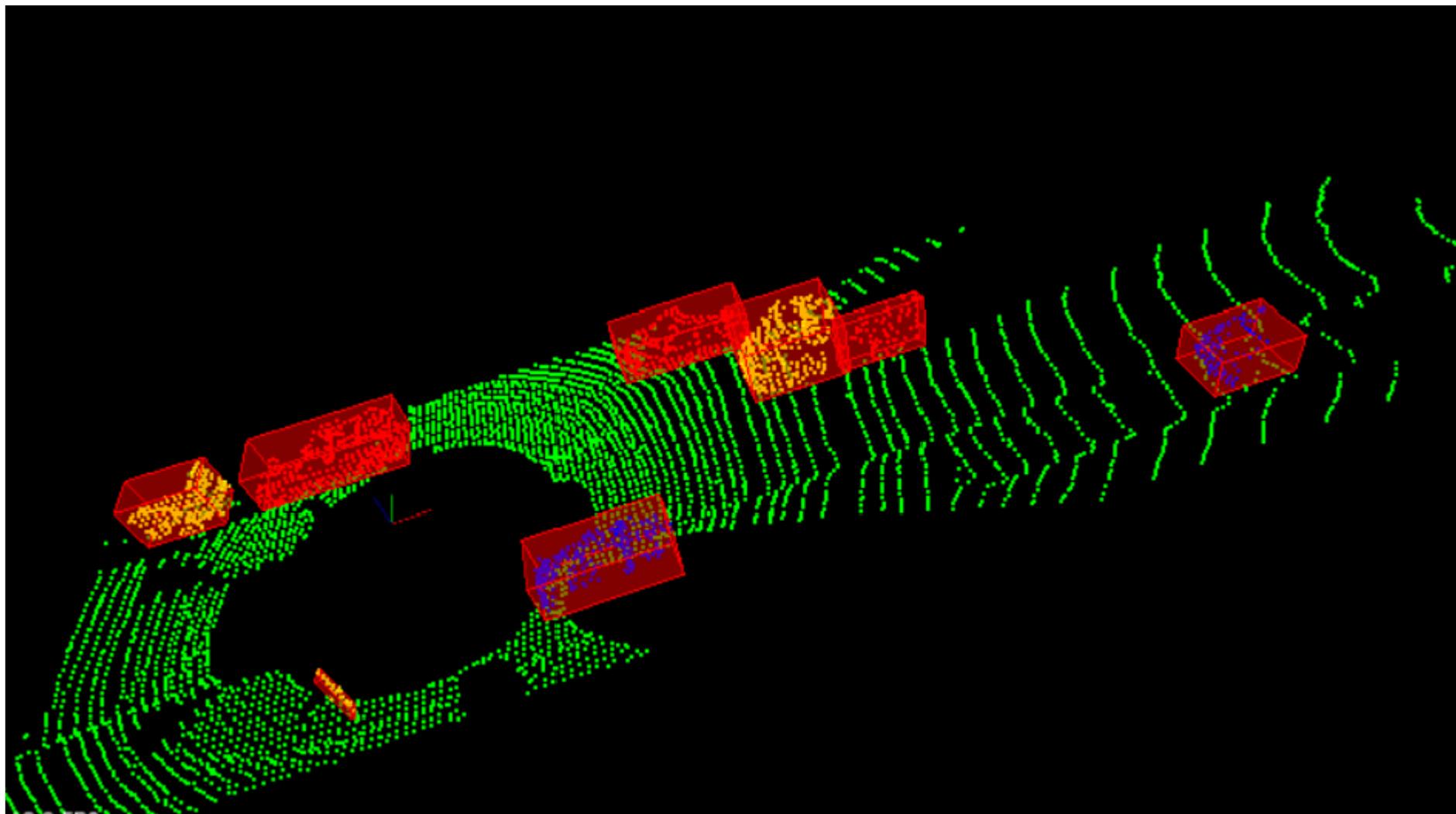
Passo 3. Segmentação



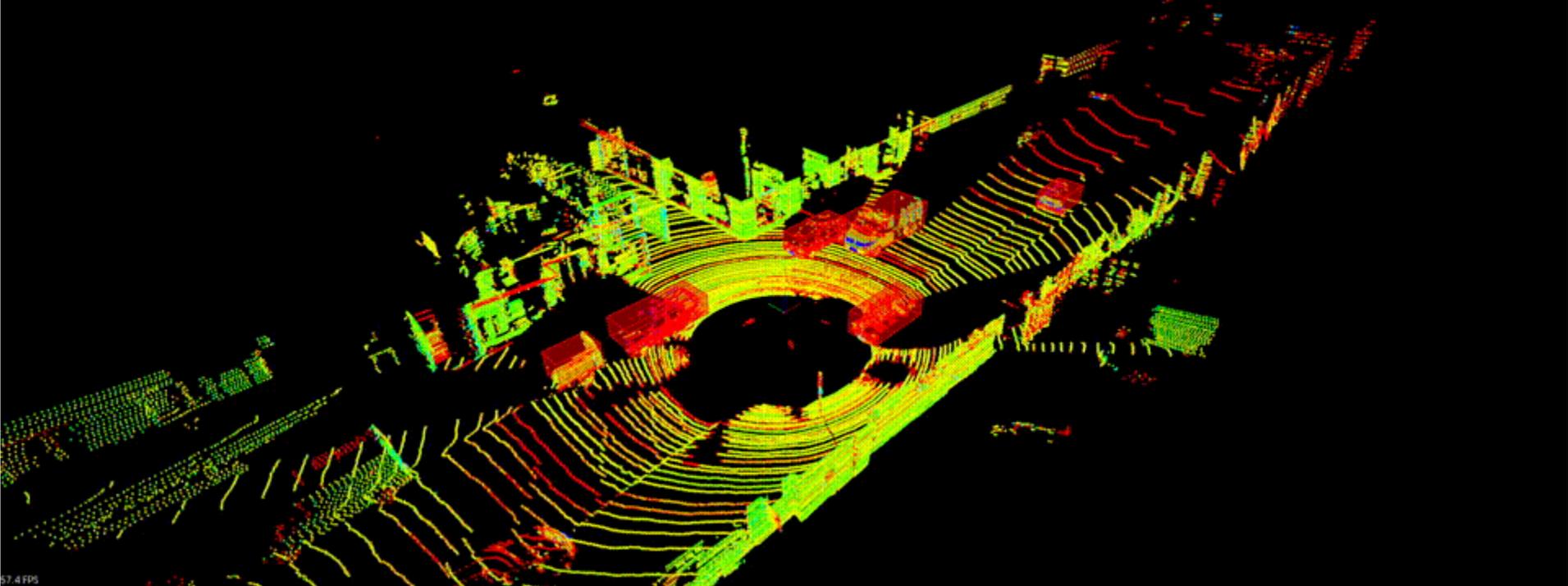
Passo 4. *Clustering* (agrupamento)



Passo 5. Caixas delimitadoras

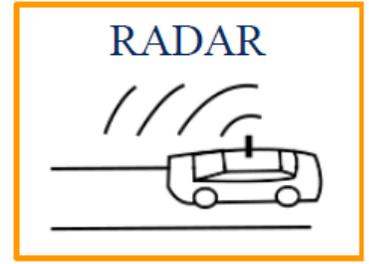


Passo 6. Streaming



<https://www.codetd.com/pt/article/10631588>

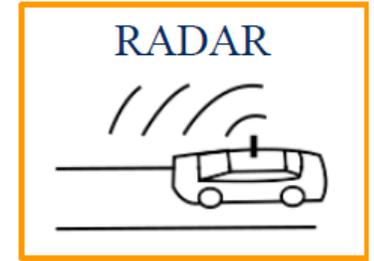
Sensor para percepção RADAR



“O RADAR funciona mesmo em **condições adversas** como chuva, neve, gelo e névoa”

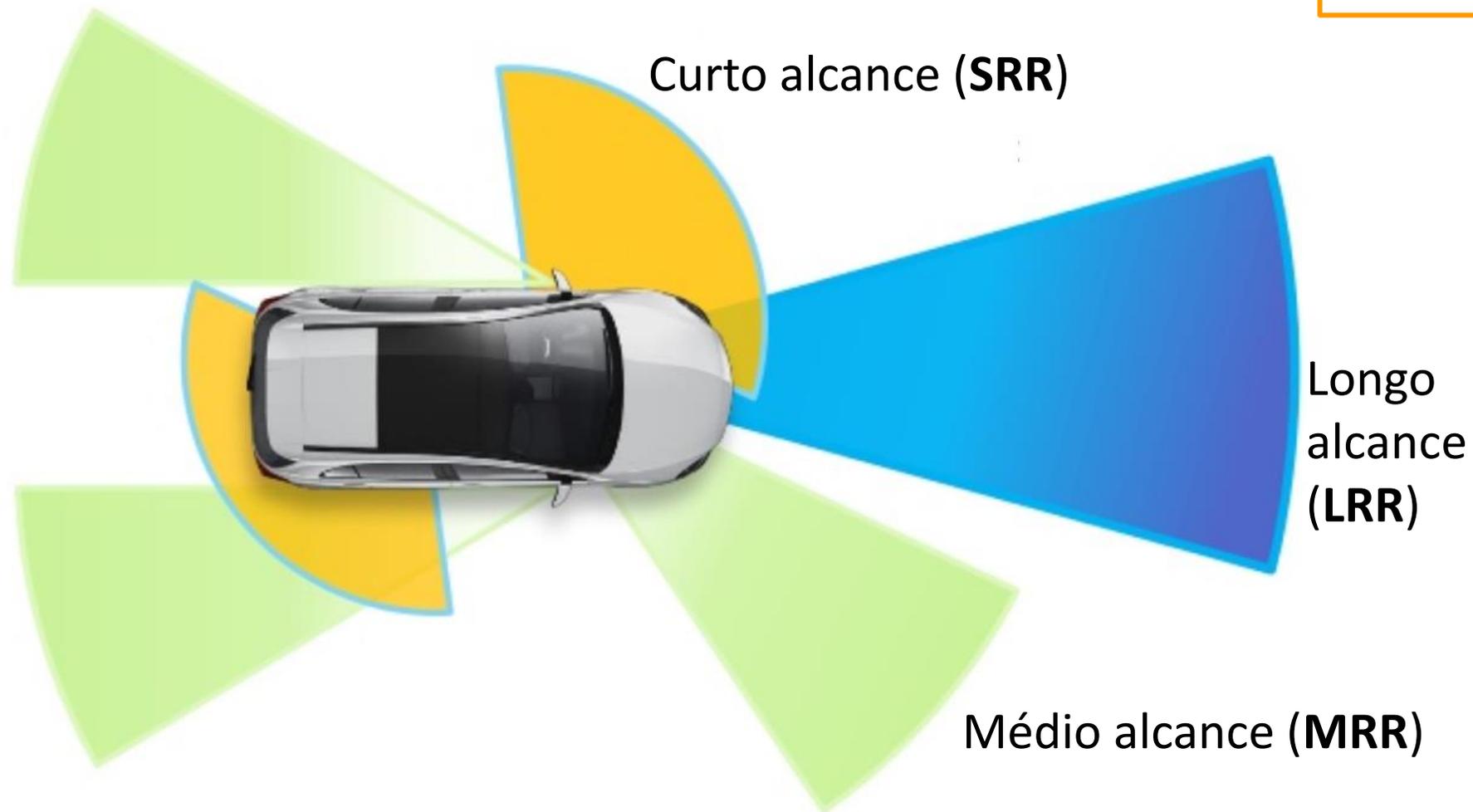
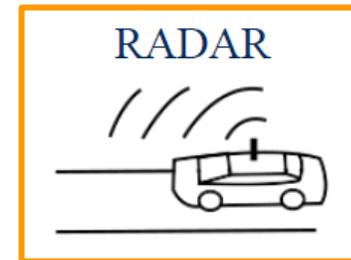


Sensor para percepção - RADAR

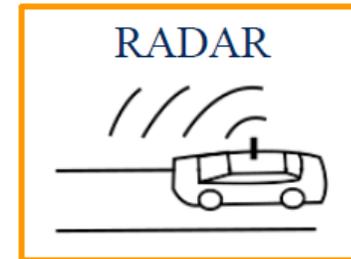


- **Radio Detection And Ranging (RADAR)**
- Emite sinal de rádio na frequência de **24GHz** ou **77GHz**
- Em 77GHz consegue medir a distância e velocidade com elevada precisão

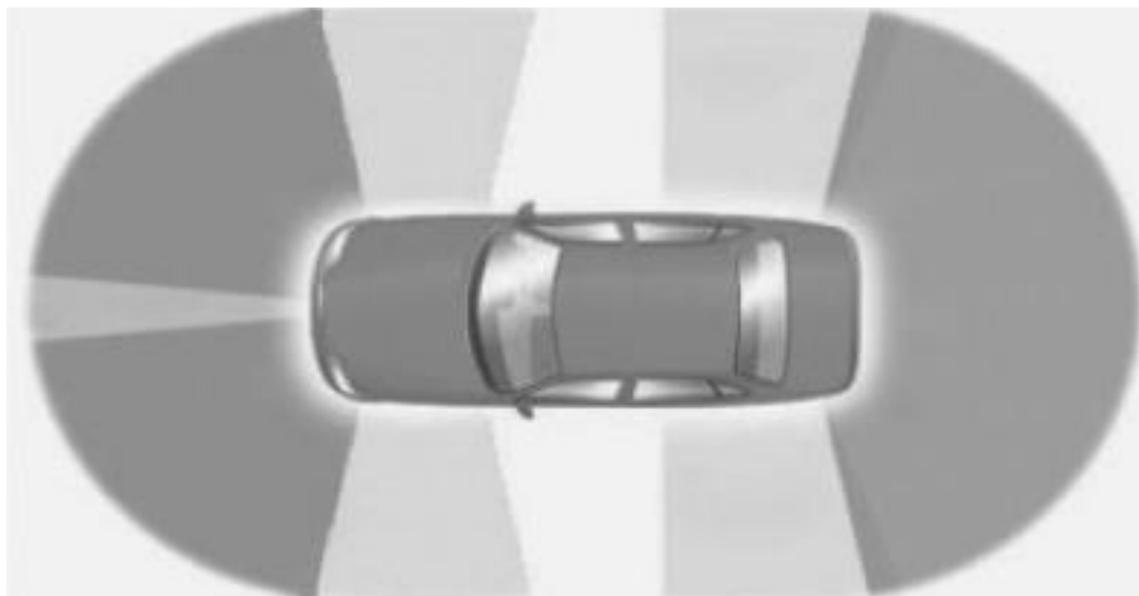
Três tipos de RADAR



RADAR de curto alcance (SRR)



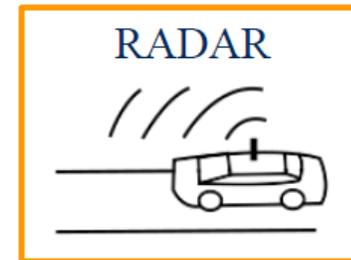
- Em geral utiliza frequência de **24GHz**
- Ângulo de 80° e alcance de aproximadamente 30m



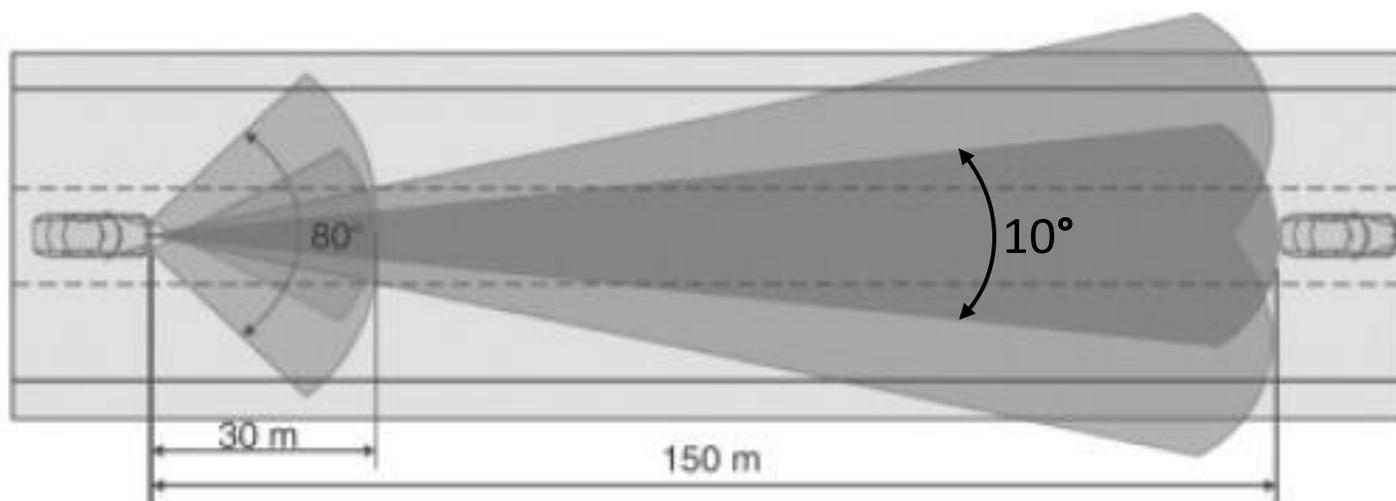
APLICAÇÕES:

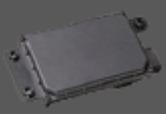
- Suporte ao ACC com Sto and Go
- Alerta de colisão
- Mitigação de colisão
- Monitoramento de zona cega
- Assistência ao estacionamento
- Assistência à mudança de faixa
- Alerta de colisão traseira

RADAR de longo alcance (LRR)



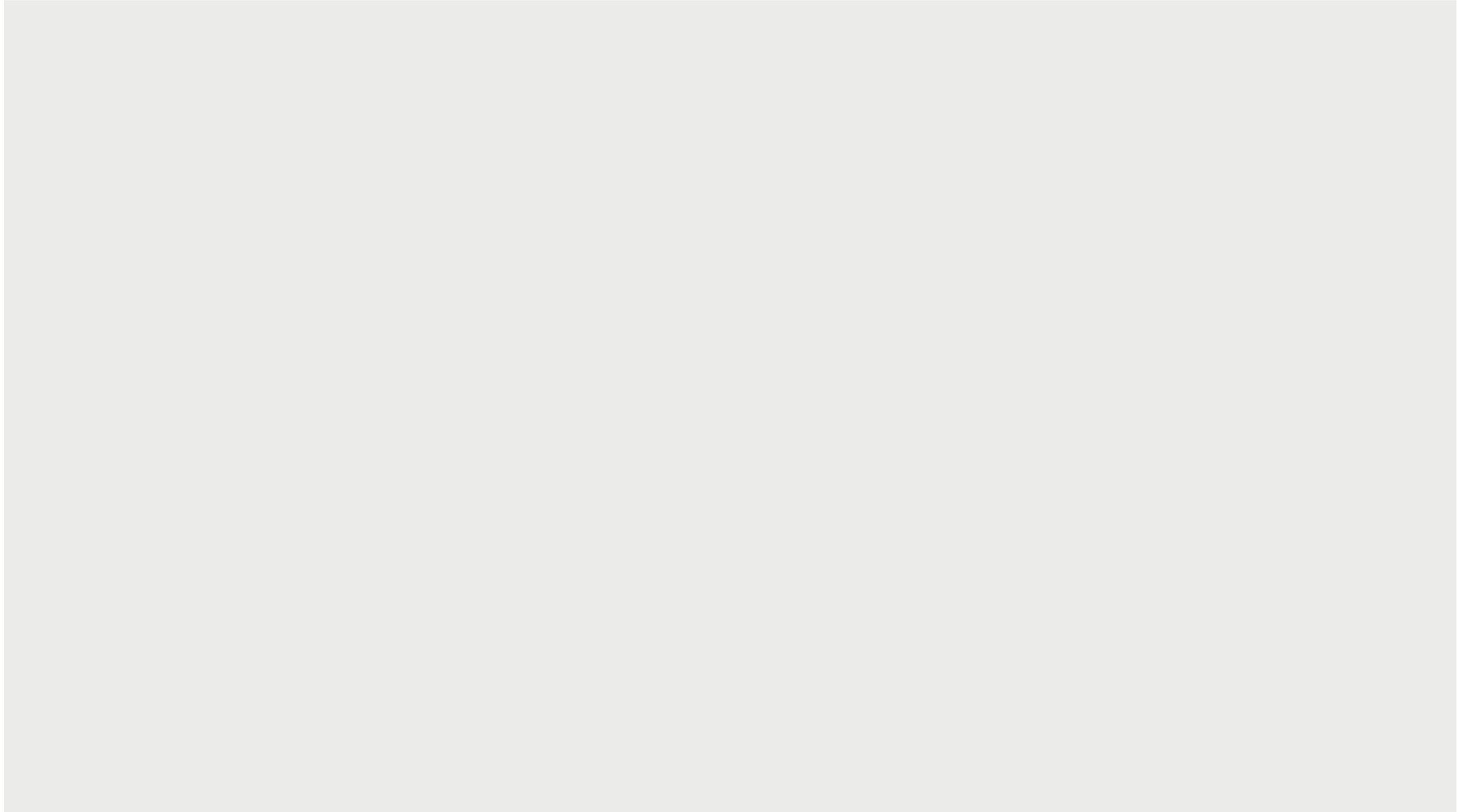
- Em geral utiliza frequência de **77GHz**
- Ângulo de **10°** e alcance de aproximadamente **150m**
- Provê informações sobre a **situação do tráfego** à frente do veículo
- É fundamental para o acionamento do **freio de emergência** em alta velocidade. Mede de distância, ângulo e velocidade radial dos outros veículos



Manufacturer	RADAR	Frequency	Min Range	Target	Max Range	Accuracy Range Range Rate Angle	Update Rate	MidRange/ Long Range	Horizontal FOV	Vertical FOV	Power	Voltage	Mass	Tracking Targets	
	Electronically Scanning, Multi-Ranging, Automotive Radar.														
	9.21.21	76.5 GHz	1m	10db	>174m	0.5m 0.12m/s 0.5°	≤50ms	60m/174m	Long Range	±10°	4.2°-4.75°	<12W	8V-16V, 24V < 1 min	575g	64
				0db	>100m				Mid-Range	±45°					
				10db	>60m										
0db				>50m											
	Electronically Scanning, Multi-Ranging, Automotive Radar, Provides Individual Detections, Disabled Tracker Grouping, Merging, and Filtering.														
	9.21.15	76.5 GHz	1m	10db	>174m	0.5m 0.12m/s 0.5°	≤50ms	60m/174m	Long Range	±10°	4.2°-4.75°	<12W	8V-16V, 24V < 1 min	575g	64
				0db	>100m				Mid-Range	±45°					
				10db	>60m										
0db				>50m											
	Electronically Scanning, Multi-Ranging, Automotive Radar, Lower Detection and Improved Detection Algorithms, Disabled Tracker Grouping, Merging, and Filtering, Over USB to Ethernet Interface.														
	2.5	76.5 GHz	1m	10db	>174m	0.5m 0.12m/s 0.5°	≤50ms	60m/174m	Long Range	±10°	4.2°-4.75°	<12W	8V-16V, 24V < 1 min	575g	64
				0db	>100m				Mid-Range	±45°					
				10db	>60m										
0db				>50m											
	Rear and Side Detection System, Single-beam mono-pulse radar. Typically Used for Cross Traffic Alert (CTA) and Blind Spot Detection. Detection data only, no tracking.														
	SRR2	76.5 GHz	0.5m		80m	-50 (Closing) to ±10m/s (Opening)	≤50ms	80m	±75°	±5°	7W	8V-16V, 24V < 1 min	380g	N/A	
	Automotive Radar with Flexible System Integration, Multi-Sensor Data Fusion, Vehicle/Customer Application Can Be Embedded														
	SMS UMRR Type 29	24 GHz	1m	Ped	50m	Typ. < ±2.5% Or < ±0.25m	≤50ms	160m	±18°	±4°	3.7W	7V-32V	330g	32/64	
Car				160m											
	Automotive Radar with Flexible System Integration, Multi-Sensor Data Fusion, Vehicle/Customer Application Can Be Embedded														
	SMS UMRR Type 30	24 GHz	1m	Ped	40m	Typ. < ±2.5% Or < ±0.25m	≤50ms	90m	±35°	±5°	3.7W	7V-32V	295g	32/64	
Car				90m											
	Automotive Radar with Flexible System Integration, Multi-Sensor Data Fusion, Vehicle/Customer Application Can Be Embedded														
	SMS UMRR Type 31	24 GHz	1m	Ped	20m	Typ. < ±2.5% Or < ±0.25m	≤50ms	45m	±50°	±5°	3.7W	7V-32V	295g	32/64	
Car				45m											

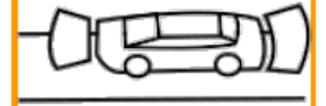
Radar automotivo - NXP

<https://www.youtube.com/watch?v=FjDn1DWfRjI>



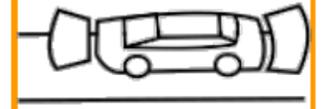
Sensor para percepção SONAR ULTRASÔNICO

Ultrasonics

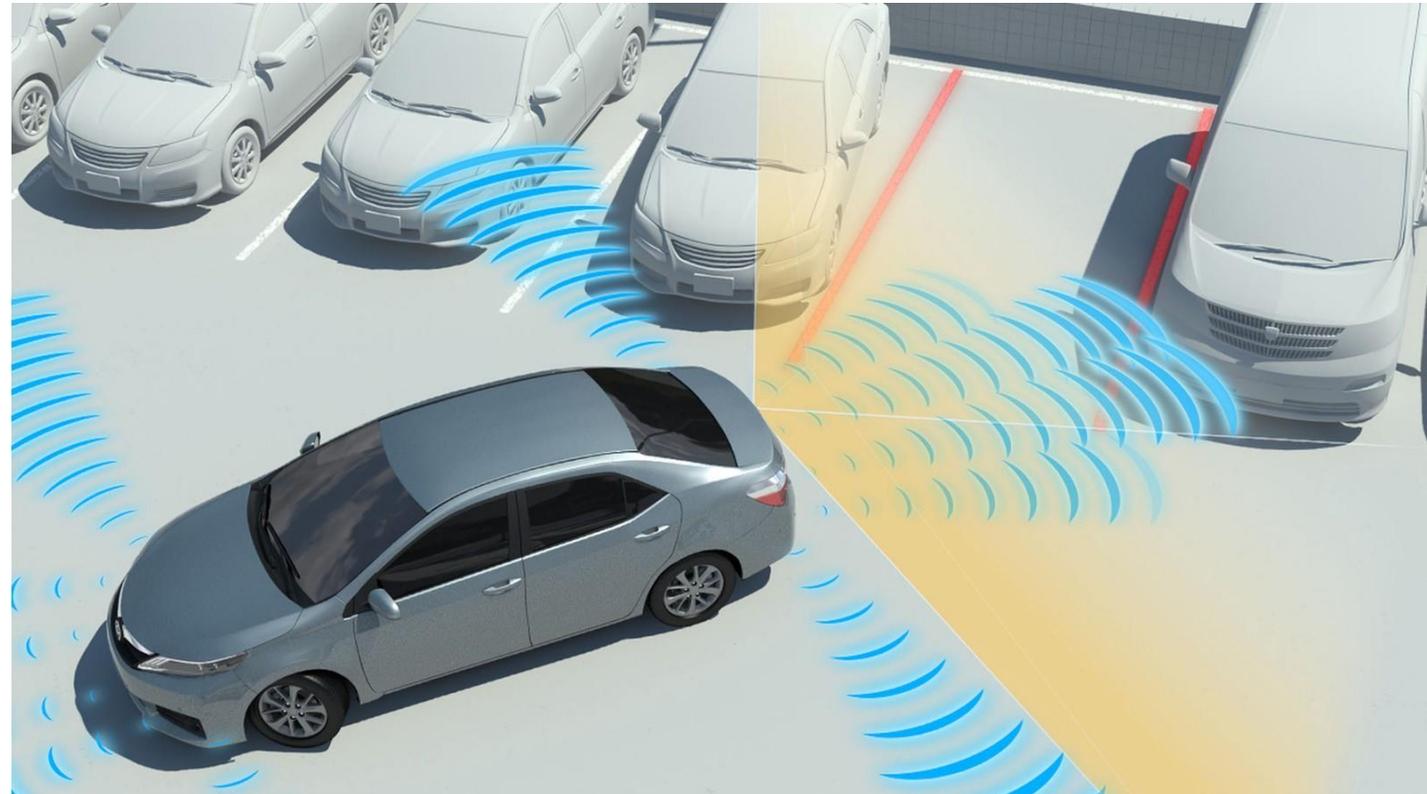


Sensor para percepção – SONAR ULTRASONICO

Ultrasonics

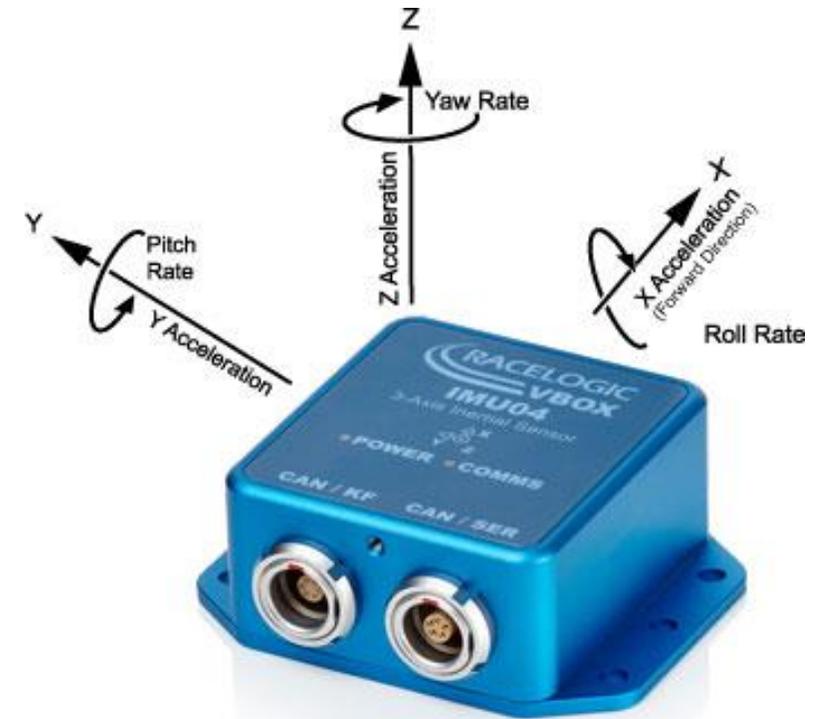


- Medição de curta distância em qualquer condição de tempo
- Solução ideal para função de estacionamento automático
- É robusto à iluminação e chuva
- Parâmetros de comparação:
 - Faixa de operação
 - Campo de visão (FoV)
 - Custo



Sensor para percepção Posicionamento Global (GNSS) e Sistema Inercial (IMU)

GNSS/IMU



Porque precisamos combinar os dois sensores?

- A precisão do GPS é da ordem de 3 ~ 30m (95% do tempo)
- O IMU tem boa precisão para curtas distâncias, mas acumula erros (*drift*)
- A solução foi combinar os dois sensores (fusão sensorial)
- Para se chegar a uma precisão da ordem de centímetros é necessário ainda fazer um casamento (*matching*) da localização obtida com um mapa e fotografias aéreas e fotografia do entorno (prédios por exemplo).

Posicionamento global por satélites

Sistemas em operação

GNSS/IMU



(EUA)

(EU)

(Rússia)

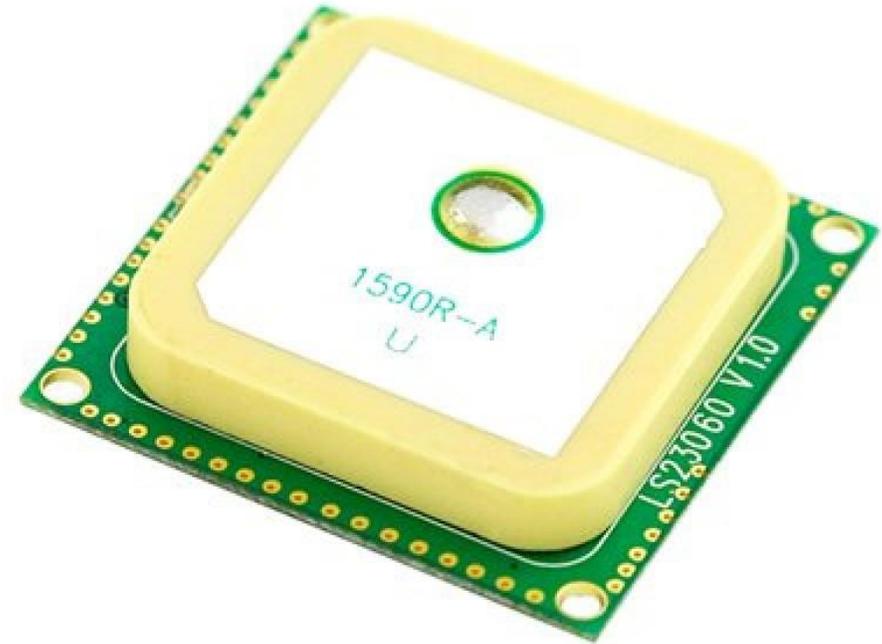
(China)

	GPS	GALILEO	GLONASS	BeiDou
First launch	1978	2011	1982	2007
Full Operational Capability	1995	2018-19	2011	2020
Number of satellites	32	30	31	35
Orbital planes	6	3	3	3
Access Scheme	CDMA	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA
Current Status	31 operational	16 operational + 4 in validation phase	24 operational	15 operational satellites, full coverage on Asia pacific region

Posicionamento global por satélites (GPS/GNSS)

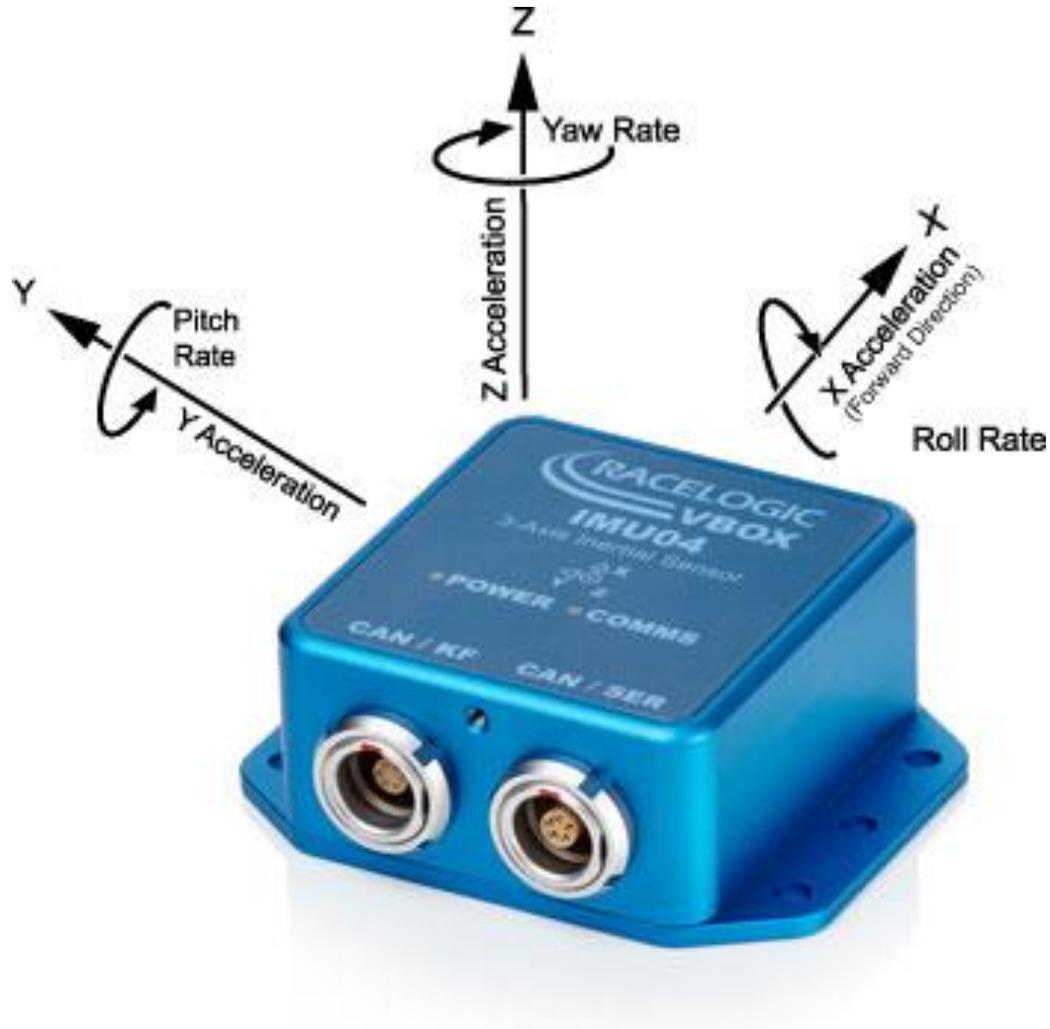


24 satélites em 6 órbitas



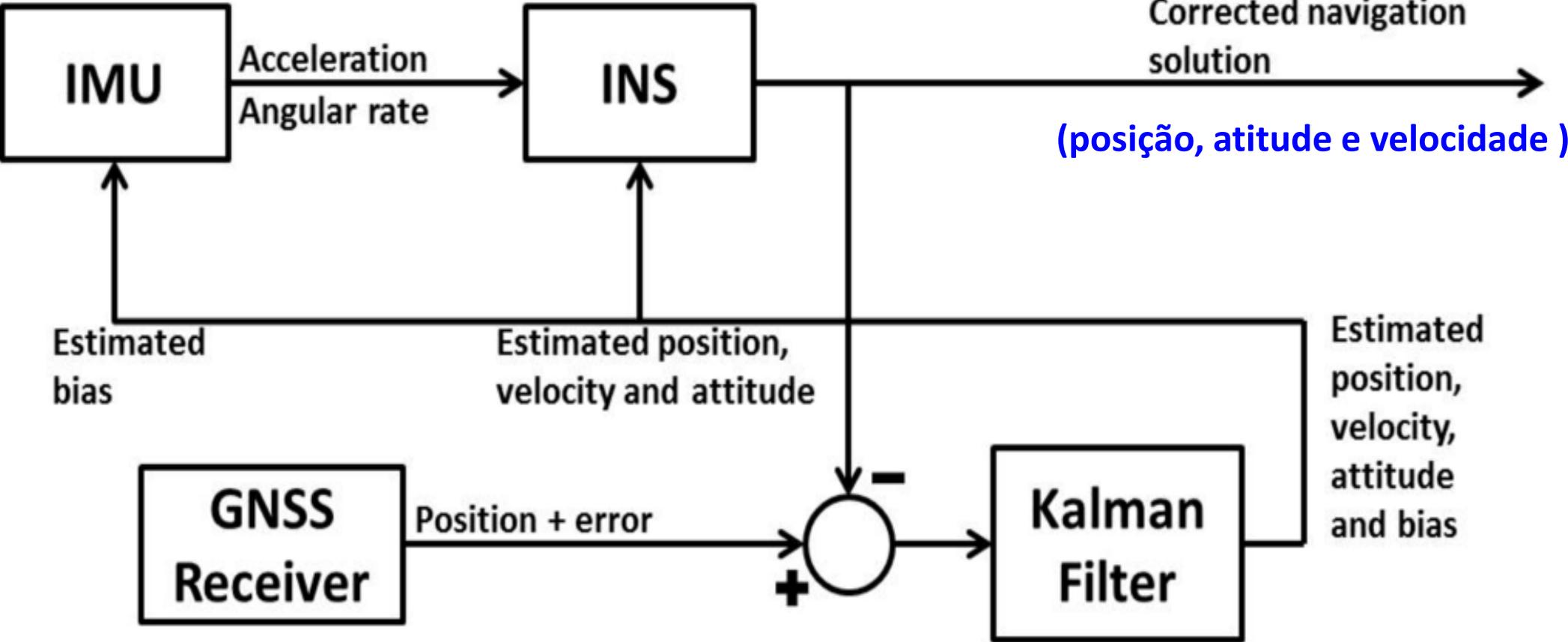
GPS Receiver
LS20031 66 Channels 5 Hz
(3 m accuracy)

Inertial Measurement Unit (IMU)



- Aceleração (x, y, z)
- Rotação (roll, pitch, yaw)

GPS and IMU Integration



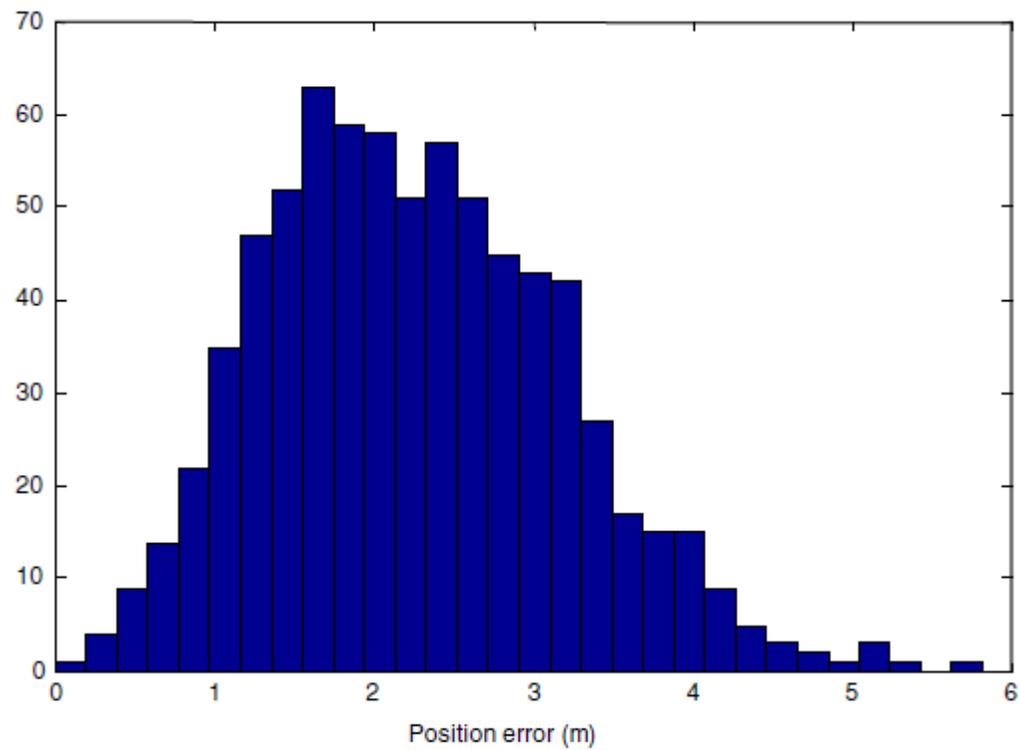


Fig. 5. Histogram of the position error of the non-filtered GPS signal.

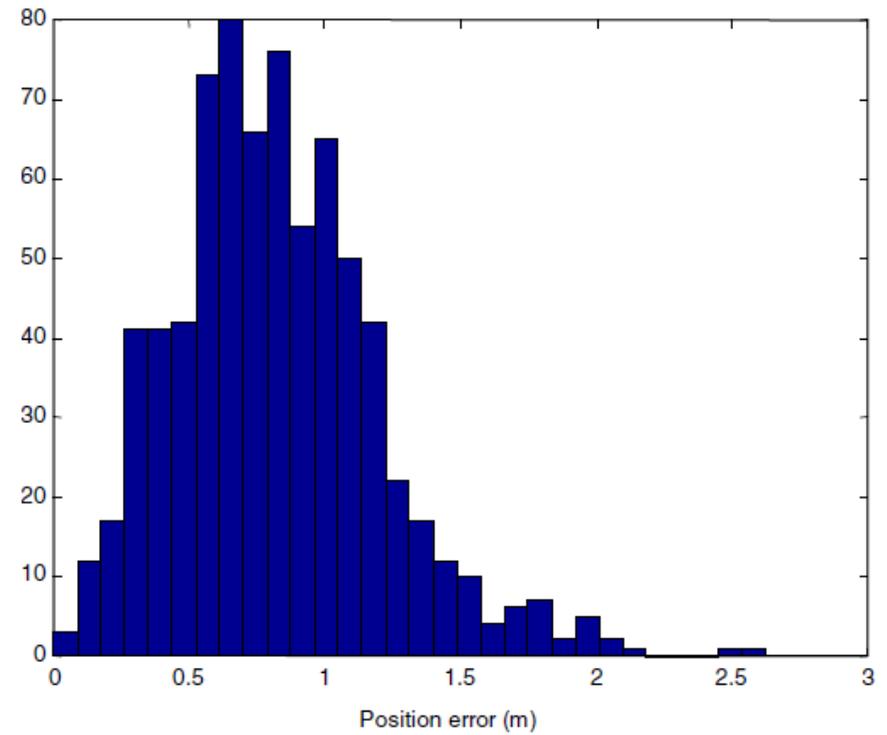


Fig. 6. Histogram of the position error of the GPS/IMU filtered signal.

Table 3
Performances of the multisensor filter

	GPS data	GPS/IMU fusion	Improvement
p.e.a. (m)	2.23	0.82	63.2%
p.e.s.b. (m)	0.96	0.38	60.3%
95% c.l. (m)	3.92	1.49	62.0%

(Caron, 2004)

Sensor para percepção Odômetro

Wheel
Odometry



- Mede a velocidade de rotação das rodas
- Essa informação é usada para calcular a velocidade do veículo e a orientação do carro

Exemplo de sistema de localização: Plataforma de veículo autônomo da Univ. Carnegie Mellon

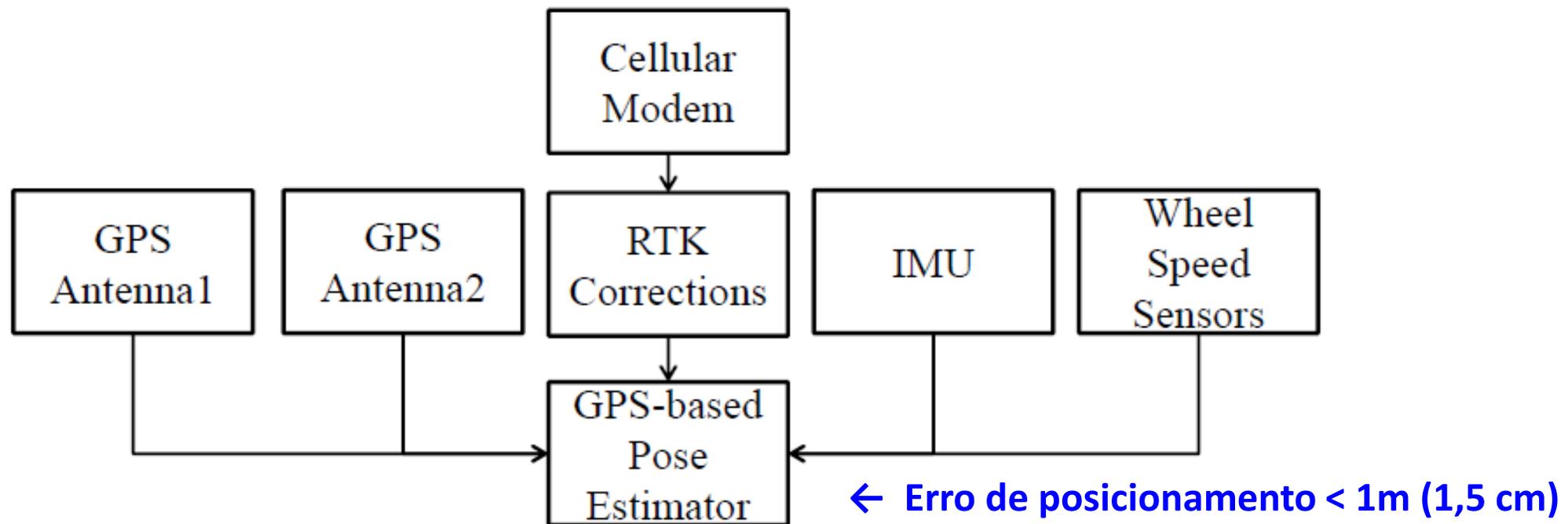


Fig. 6: The design of the autonomous vehicle global localization system

Sensores para percepção

Resumo

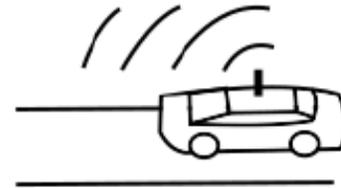
Camera



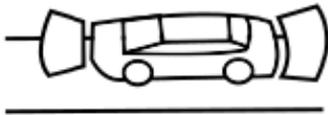
LIDAR



RADAR



Ultrasonics



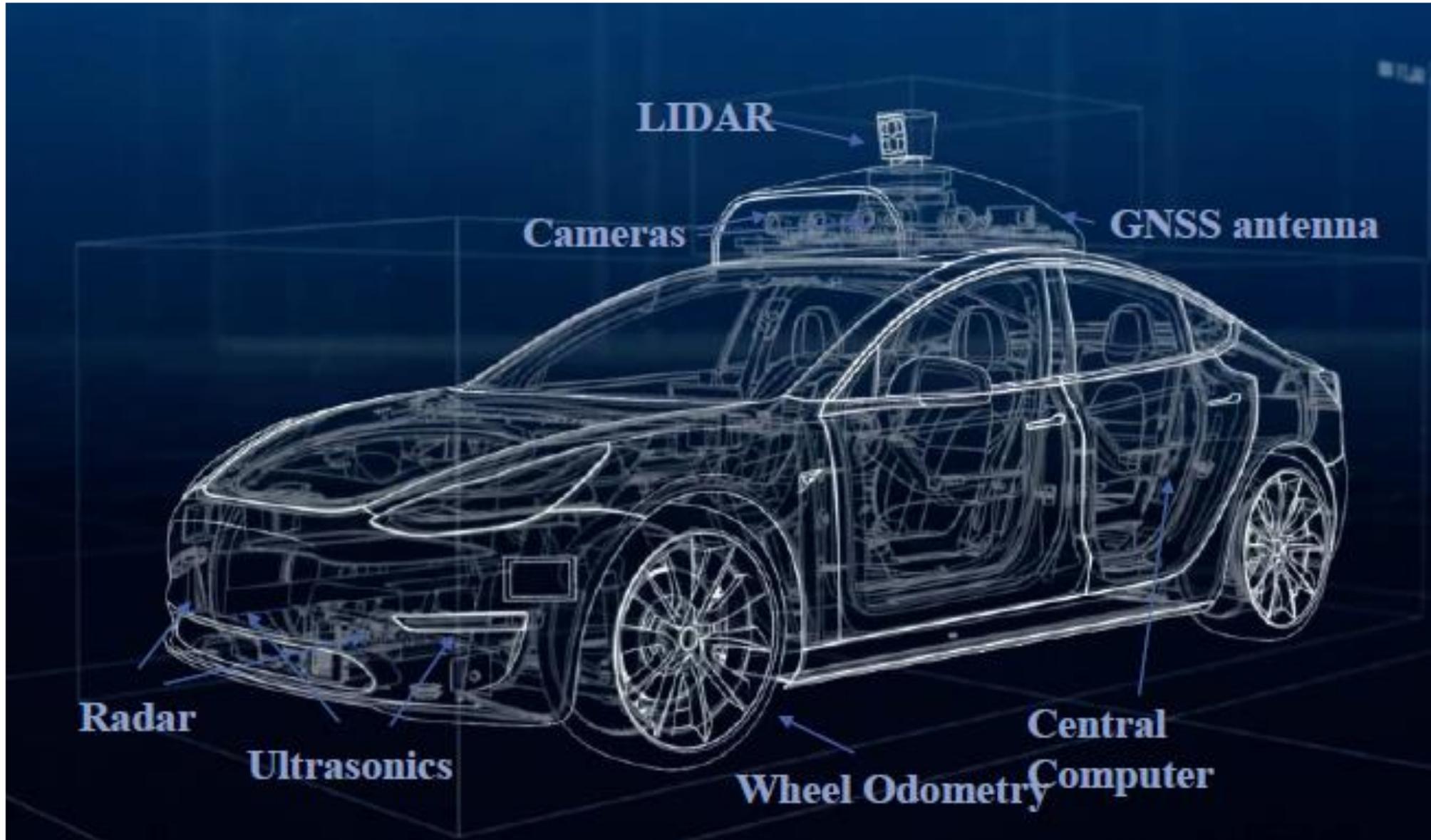
GNSS/IMU



Wheel
Odometry

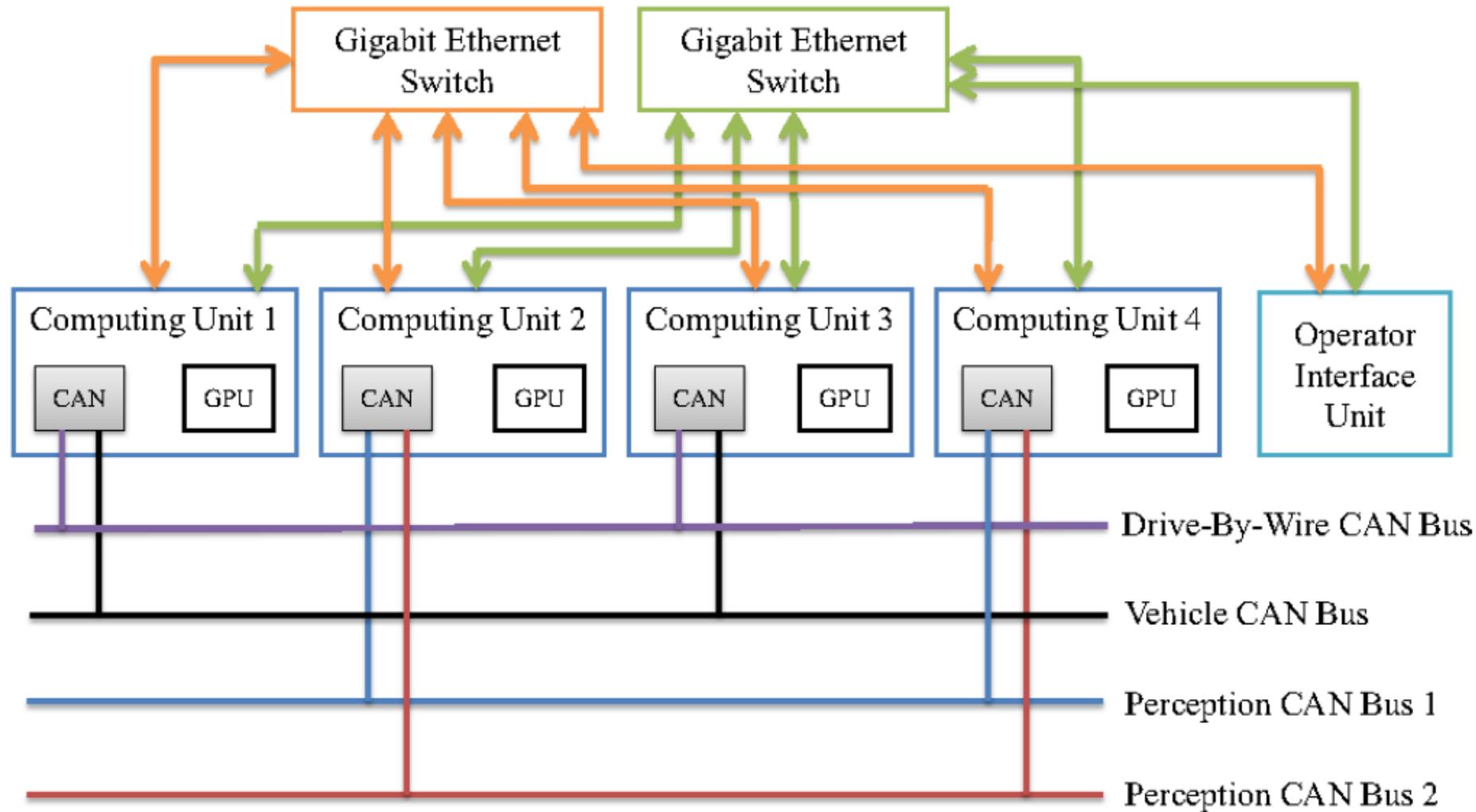


Para processar todos os dados dos sensores ...

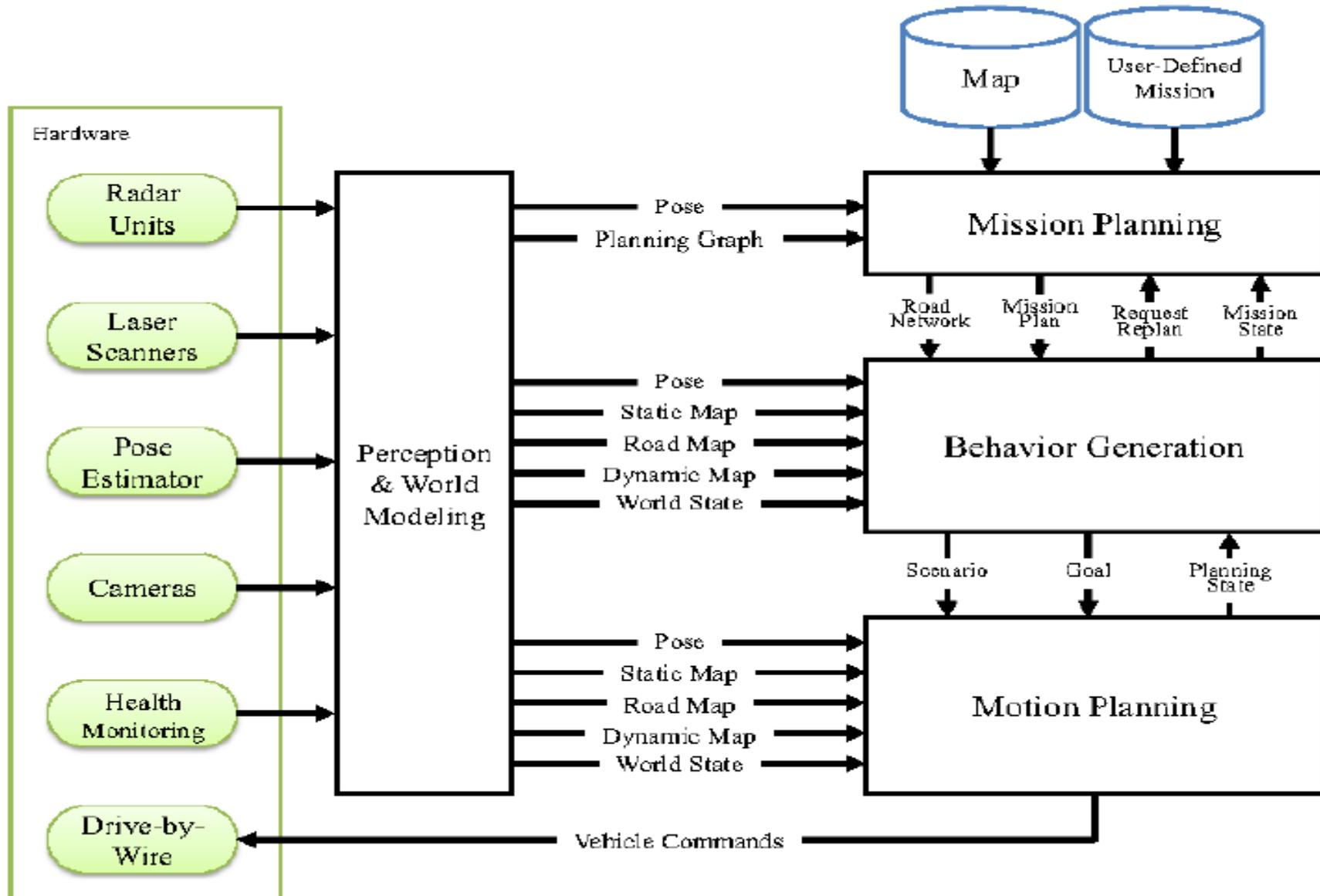


Exemplo de arquitetura do sistema computacional

Plataforma de veículo autônomo da Univ. Carnegie Mellon



Arquitetura de software do veículo autônomo da Univ. Carnegie Mellon



(Wei, 2013)

Detalhes do compartimento do sistema computacional



Normal



Aberto

Interface do Usuário do veículo autônomo da Univ. Carnegie Mellon



Interior do carro autônomo



Console central

Interface do Usuário do veículo autônomo

- Interface do Usuário (UI) do veículo autônomo tem grande importância.
- Deve proporcionar uma comunicação suave entre o operador humano e o sistema de direção automática (ADS)
- UI deve prover ao operador humano a habilidade de cooperar com o carro em 4 níveis:
 - Nível de **missão** (seleção de destino / rota preferencial)
 - Nível de **comportamento** (*behavior*) (preferências do usuário, p.ex. faixa)
 - Nível de **execução** (chaveamento para o modo autônomo)
 - Nível de **acesso remoto** (via App de smartphone, p. ex. *parking* e *pick-up*)

Computador de bordo para veículos autônomos



- Coleta de dados de todos os sensores
- Comunicação com os ECUs
- Processamento das atuações

DRIVE AGX – In-Vehicle AI Computer

- DRIVE AGX Xavier (Nível 2/3)
- DRIVE AGX Pegasus (Robotaxi)

<https://developer.nvidia.com/drive/drive-agx>

Processamento de imagens, detecção de objetos e mapeamento

HARDWARE DEDICADO:

- GPUs
- FPGAs
- ASICs



Titan X (GM200)

- 28nm [Maxwell GPU](#) with
- 12GB of GDDR5 Hynix RAM,
- 1GHz clock speed,
- 336GB/s memory bandwidth,
- 8 billion transistors,
- 3,072 CUDA cores,
- 7TFLOPS (single precision) and
- 0.2TFLOPs (double precision) performance, and a
- PCIe 3.0 x16 interface.

Projeto de configuração de Hardware

Vamos assumir a menos de indicação em contrário que:

- Desaceleração agressiva = 5 m/s^2
- Desaceleração confortável = 2 m/s^2

Exercício 1 - qual a distância necessária para o carro parar?



- a) 60 m
- b) 70 m
- c) 80 m
- d) 90 m
- e) 100 m

A distância necessária para parar é dada por:

$$d = \frac{v^2}{2a}$$

a = desaceleração máxima; v = velocidade

Em geral, temos dois ambientes de operação

Parâmetro	Tráfego Rodoviário	Tráfego Urbano
Velocidade	Elevada	Baixa - média
Volume	Baixo - elevado	Médio - elevado
Número de faixas	2 a 4	2 a 6
Outras características	Poucas curvas graduais, confluências	Muitos retornos e intersecções

Análise do tráfego rodoviário

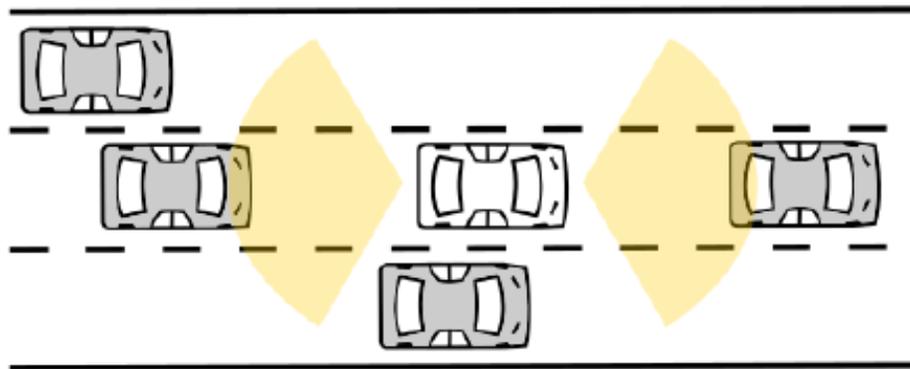
De forma geral, é preciso considerar três tipos de manobras:

- Frenagem de emergência
- Manutenção da velocidade
- Mudança de faixa



Análise do tráfego rodoviário: frenagem de emergência

No caso de trânsito parado à frente, é necessário **parar a tempo**:

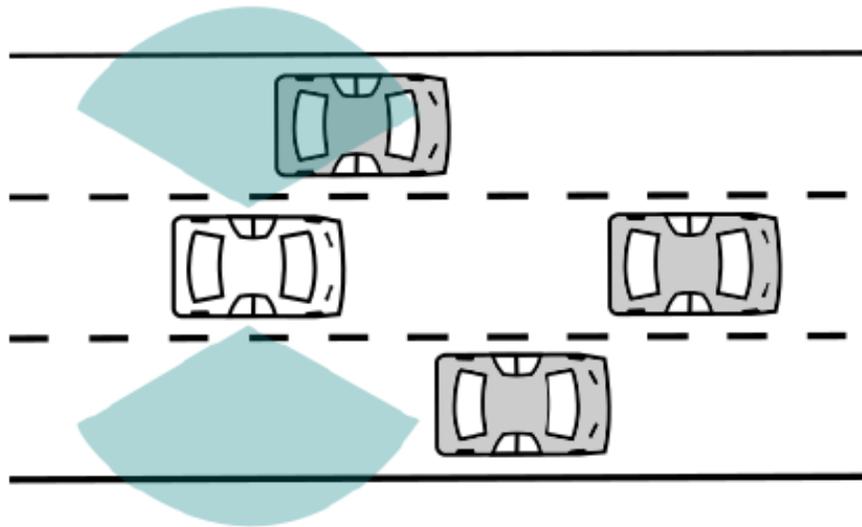


Cobertura longitudinal:

- Assumindo uma velocidade de 120Km/h
- Precisaremos de distância de 110m para parar o carro
- Pelo menos 150 a 200m

Análise do tráfego rodoviário: frenagem de emergência

No caso de trânsito parado à frente, é necessário parar a tempo ou **mudar de faixa**:

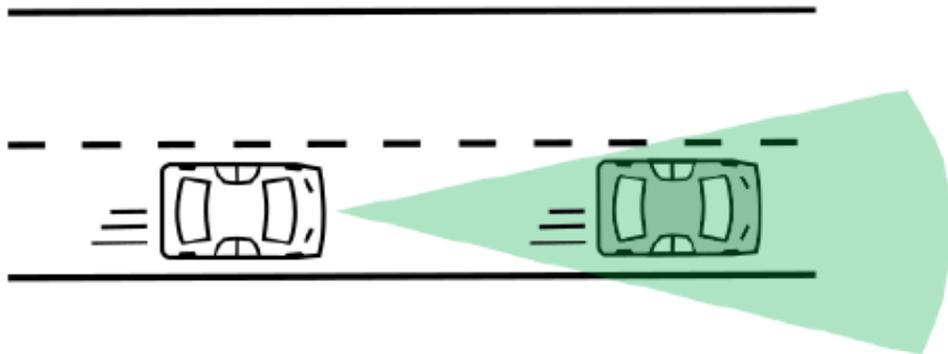


Cobertura lateral:

- Pelo menos as faixas adjacentes para mudar de faixa em segurança.

Análise do tráfego rodoviário: manutenção de velocidade

A velocidade relativa é tipicamente menor que 30km/h:

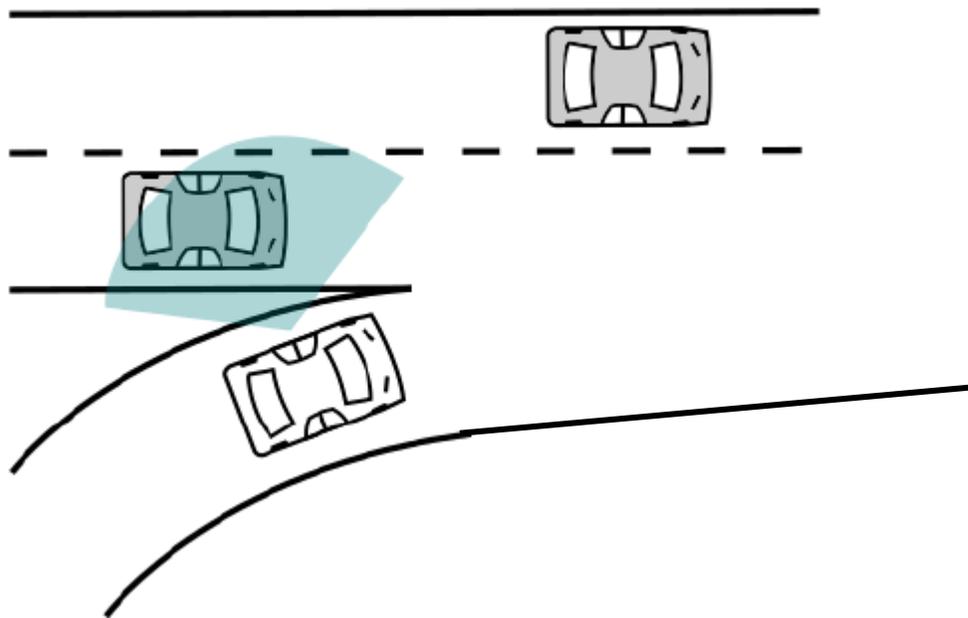


Cobertura longitudinal:

- Pelo menos 100m à frente
- Como ambos veículos estão em movimento não há necessidade de ver longe como no caso de frenagem de emergência

Análise do tráfego rodoviário: manter velocidade na confluência

A velocidade relativa é tipicamente menor que 30km/h:

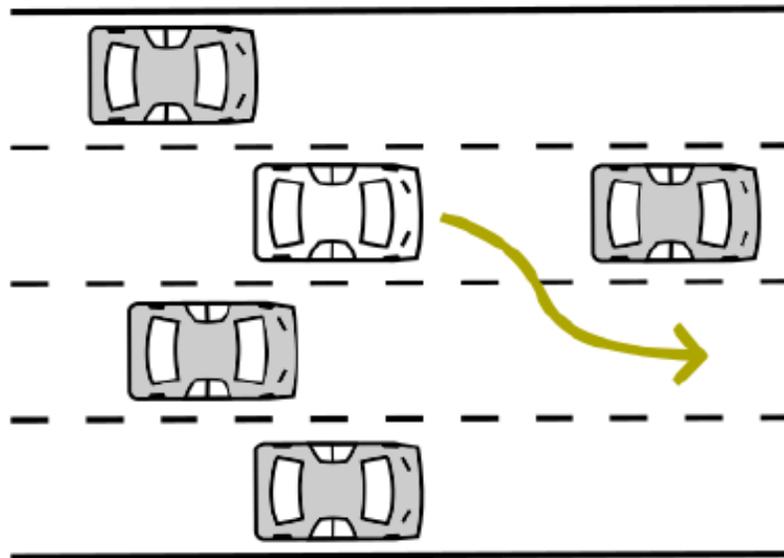


Cobertura lateral

- Detecção de veículo na faixa adjacente

Análise do tráfego rodoviário: mudança de faixa (1/3)

Vamos considerar mudança para faixa da direita como mostrado:

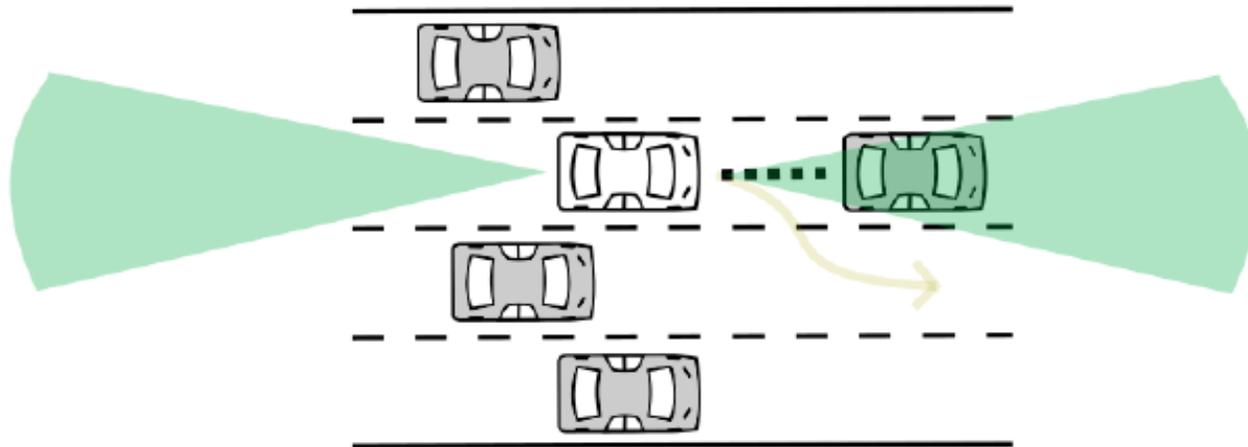


Faixa desejada

Análise do tráfego rodoviário: mudança de faixa (2/3)

Cobertura longitudinal:

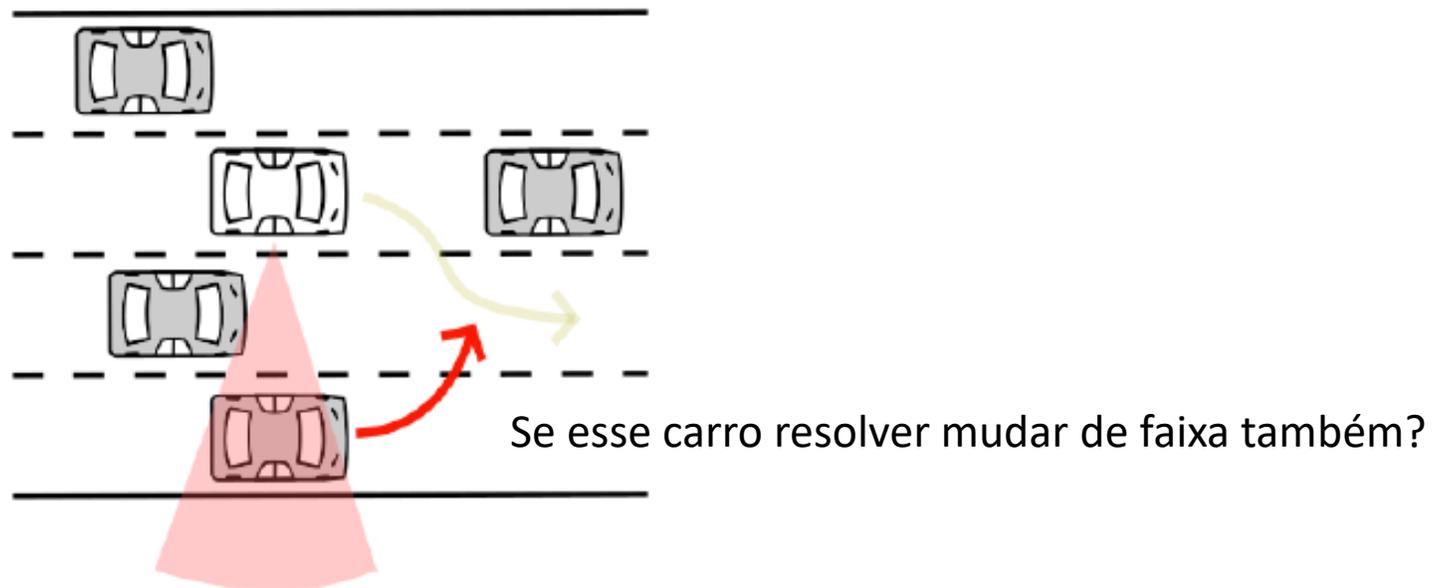
- necessário visão à frente para manter distância segura e
- necessário visão à ré para ver o que o carro de trás está fazendo



Análise do tráfego rodoviário: mudança de faixa (3/3)

Cobertura lateral:

- necessário visão da faixa adjacente, mas também da subsequente
- necessário uma cobertura maior

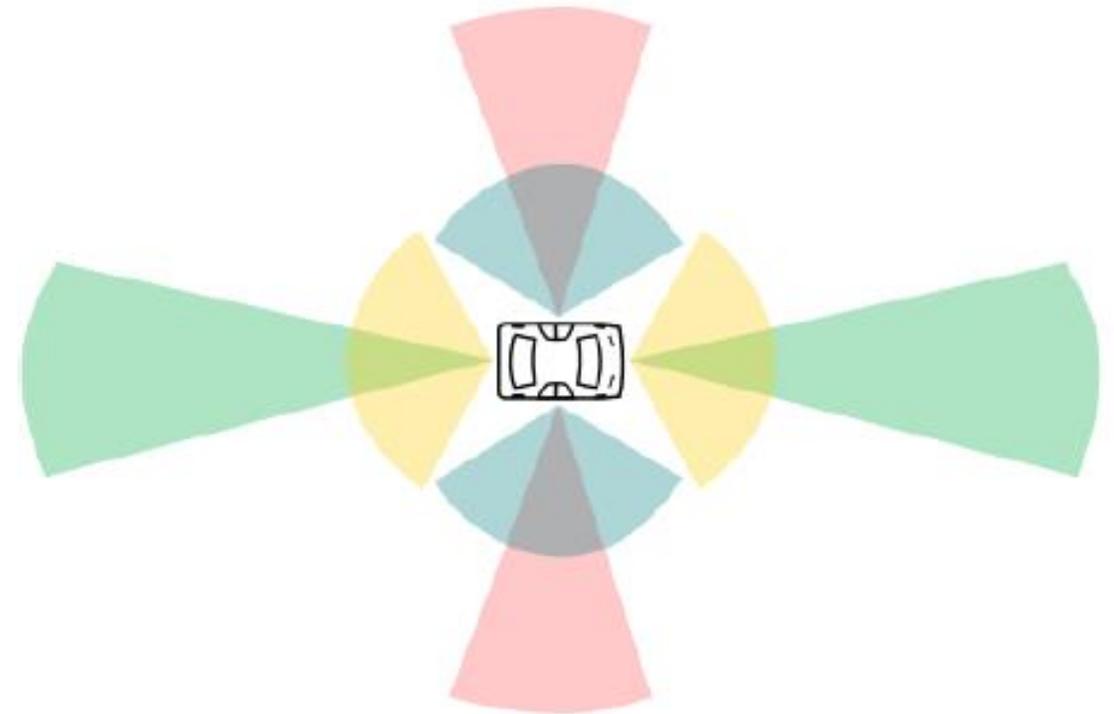


Análise do tráfego rodoviário: cobertura geral

Cobertura longitudinal e lateral:

- necessário visão do entorno conforme mostrado abaixo para realizar as diferentes manobras no tráfego rodoviário

-  Frenagem de emergência
-  Frenagem de emergência, manutenção de velocidade, mudança de faixa
-  Manutenção de velocidade, mudança de faixa
-  Mudança de faixa

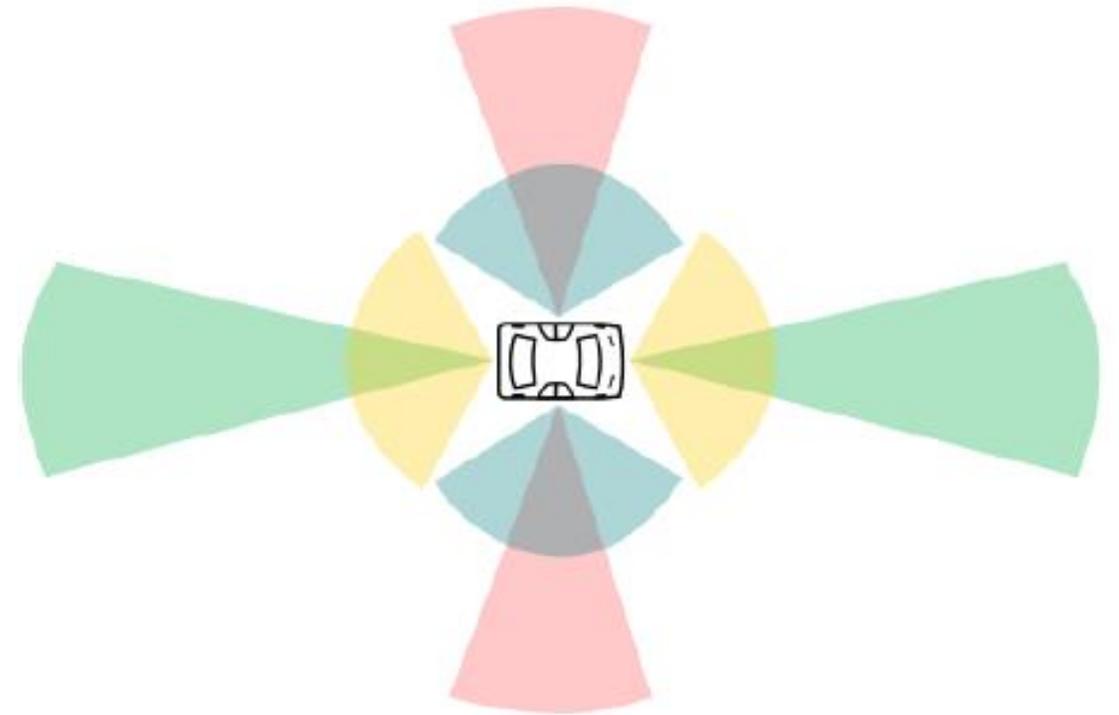


Análise do tráfego rodoviário: cobertura geral

Cobertura longitudinal e lateral:

- necessário visão do entorno conforme mostrado abaixo para realizar as diferentes manobras no tráfego rodoviário

-  Frenagem de emergência
-  Frenagem de emergência, manutenção de velocidade, mudança de faixa
-  Manutenção de velocidade, mudança de faixa
-  Mudança de faixa



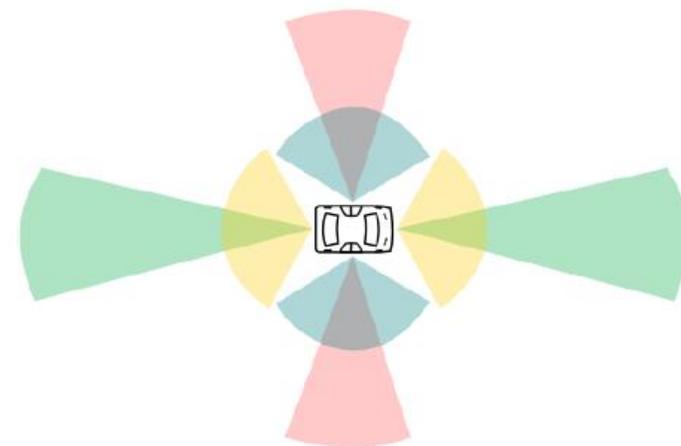
Análise do tráfego urbano

De forma geral, é preciso considerar seis tipos de manobras:

- Frenagem de emergência
- Manutenção da velocidade
- Mudança de faixa
- Ultrapassagem
- Retorno, cruzar a intersecção
- Passar pela rotatória



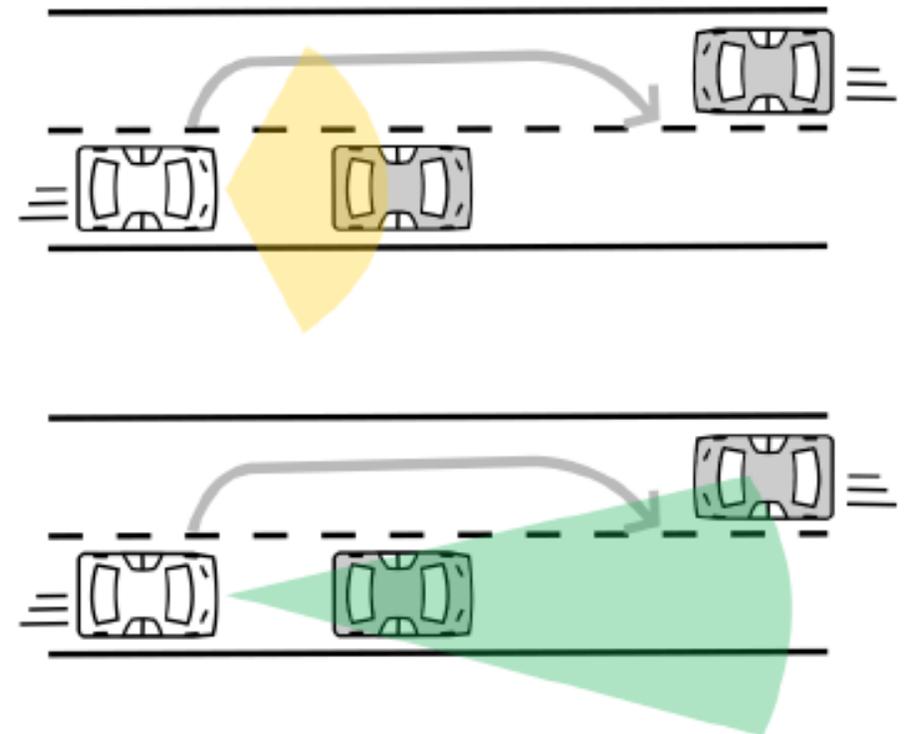
Similar à análise de tráfego rodoviário



Análise do tráfego urbano: ultrapassagem

Cobertura longitudinal:

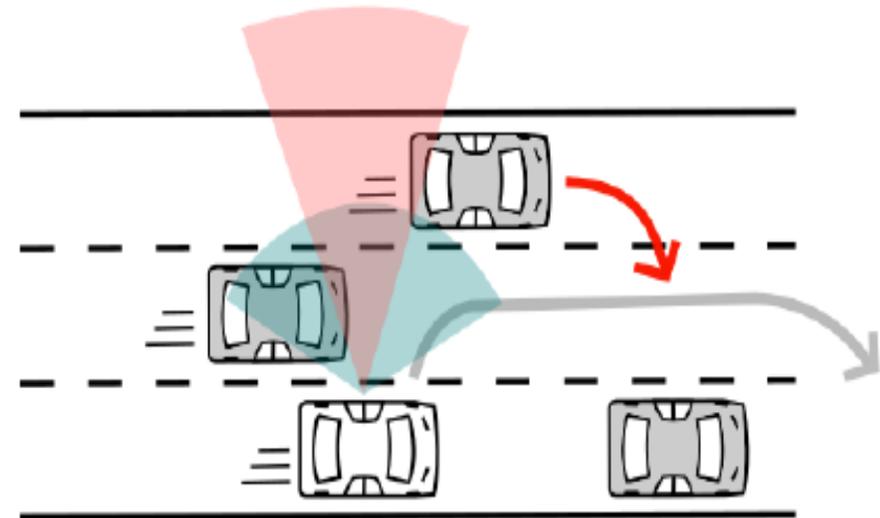
- Para ultrapassar um veículo parado ou em movimento, é necessário detectar o tráfego no sentido oposto antes do ponto de retorno à própria faixa.



Análise do tráfego urbano: ultrapassagem

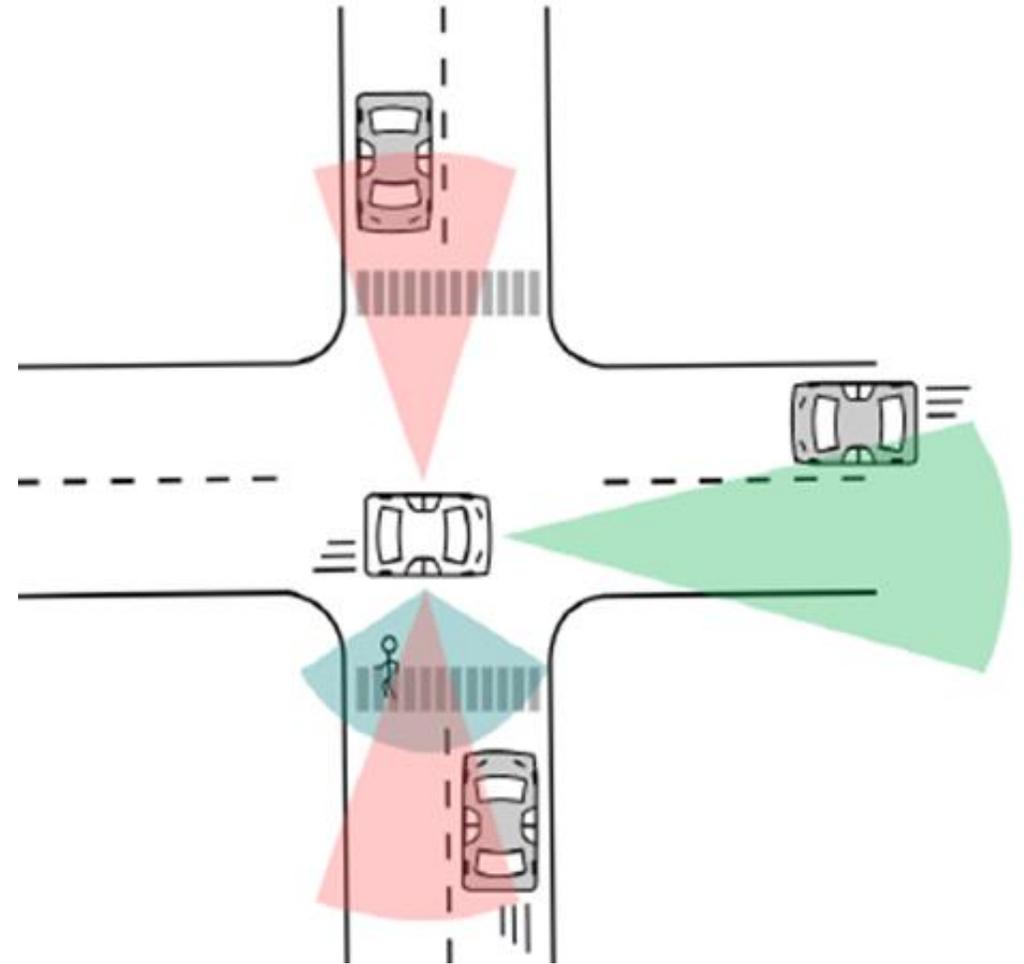
Cobertura lateral:

- É necessário observar sempre as faixas adjacentes
- Necessário também observar as faixas subsequentes às adjacentes para verificar se estão se movendo para a faixa adjacente pretendida.



Análise do tráfego urbano: Intersecção

- É necessário observar além da intersecção para identificar veículos se aproximando, pedestres atravessando e se a faixa encontra-se livre para prosseguir
- Requer um sensoriamento quase omnidirecional para ter uma visão para todos os ângulos da intersecção.



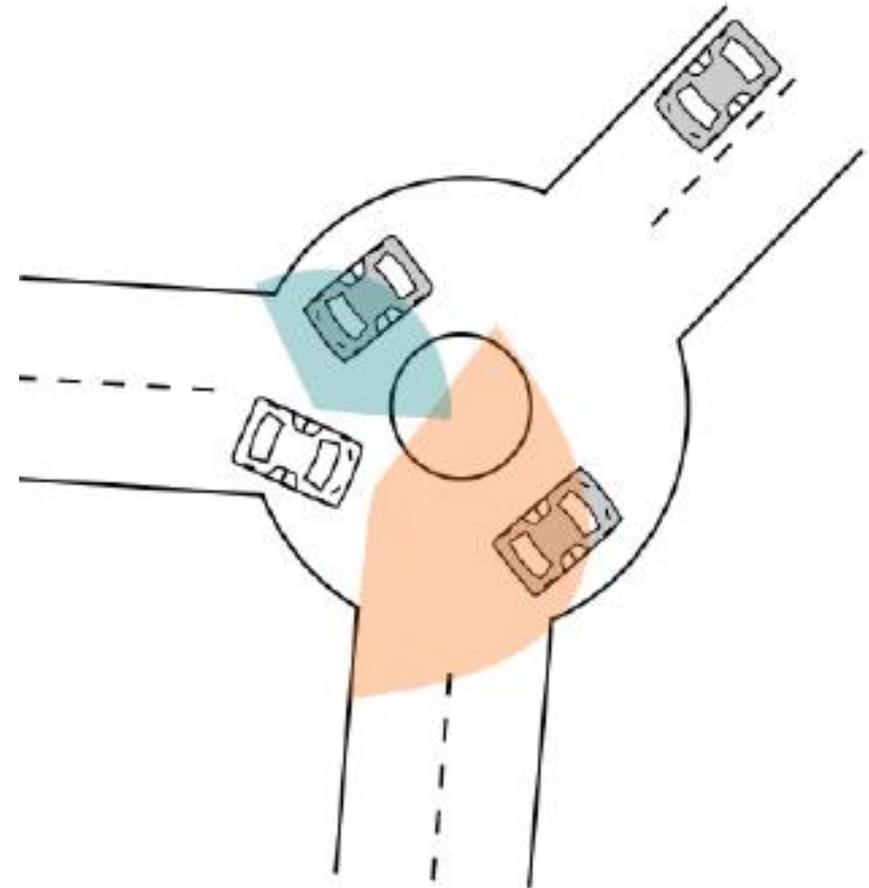
Análise do tráfego urbano: Rotatória

Cobertura Lateral:

- Os veículos trafegam mais lentamente que o usual, necessitando de uma cobertura de menor alcance

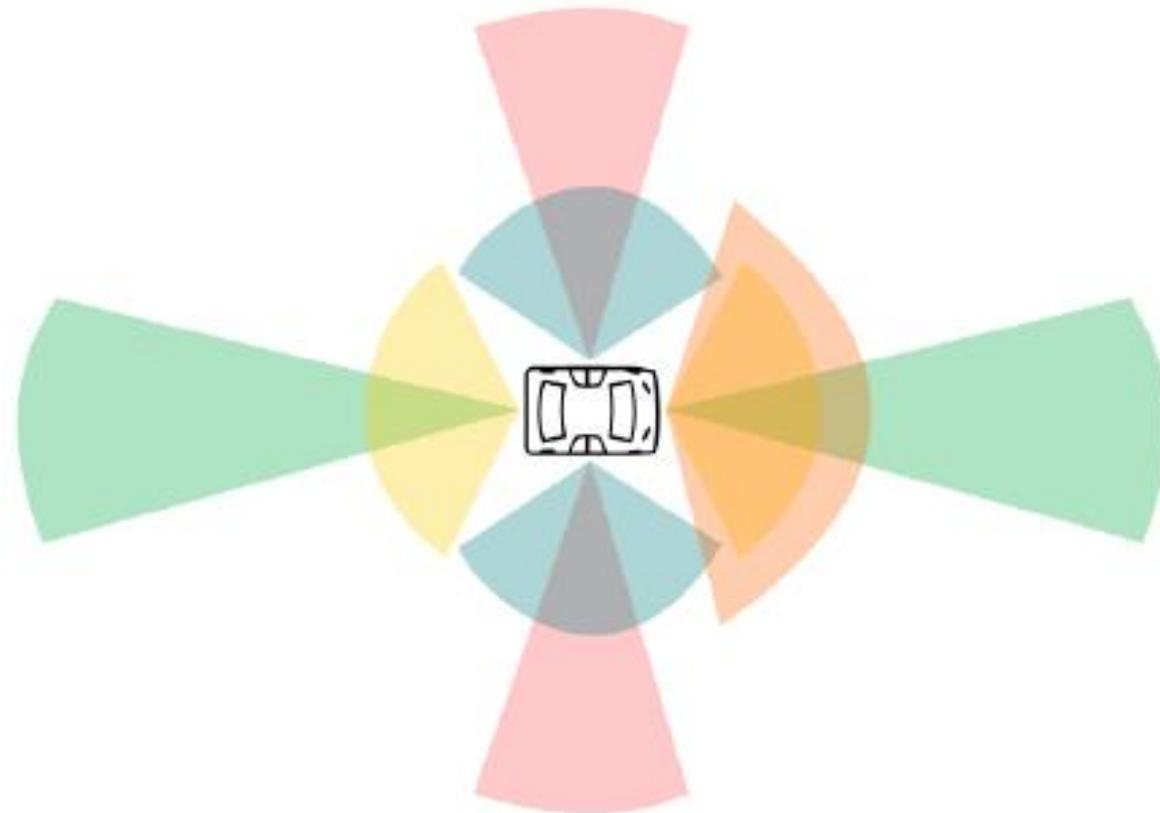
Cobertura Longitudinal:

- Devido ao formato circular da rotatória, necessita de um campo de visão maior(FoV)

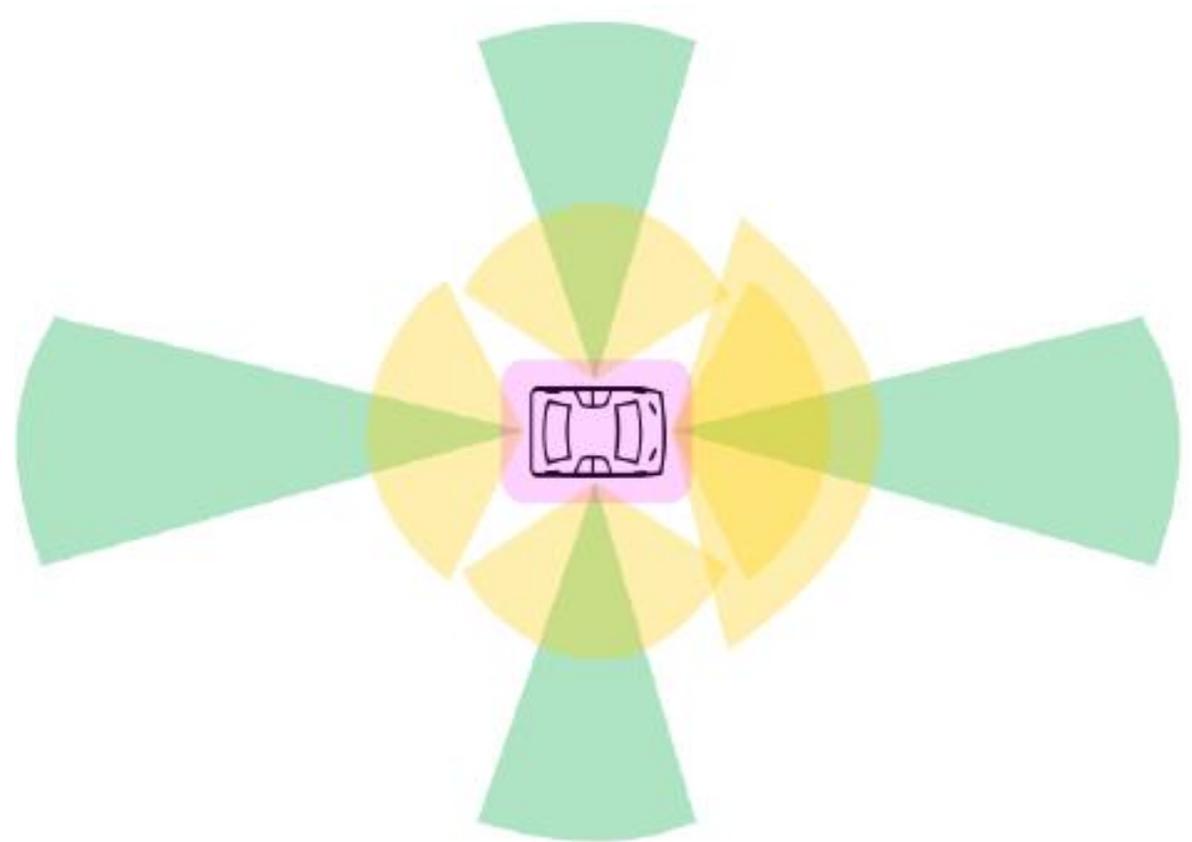
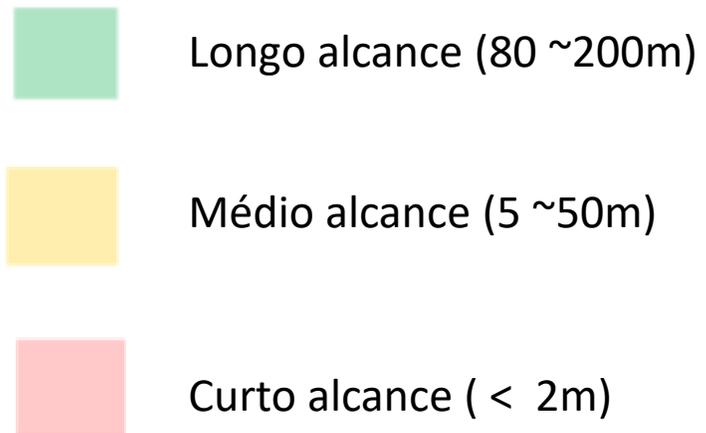


Análise do tráfego urbano: Cobertura geral

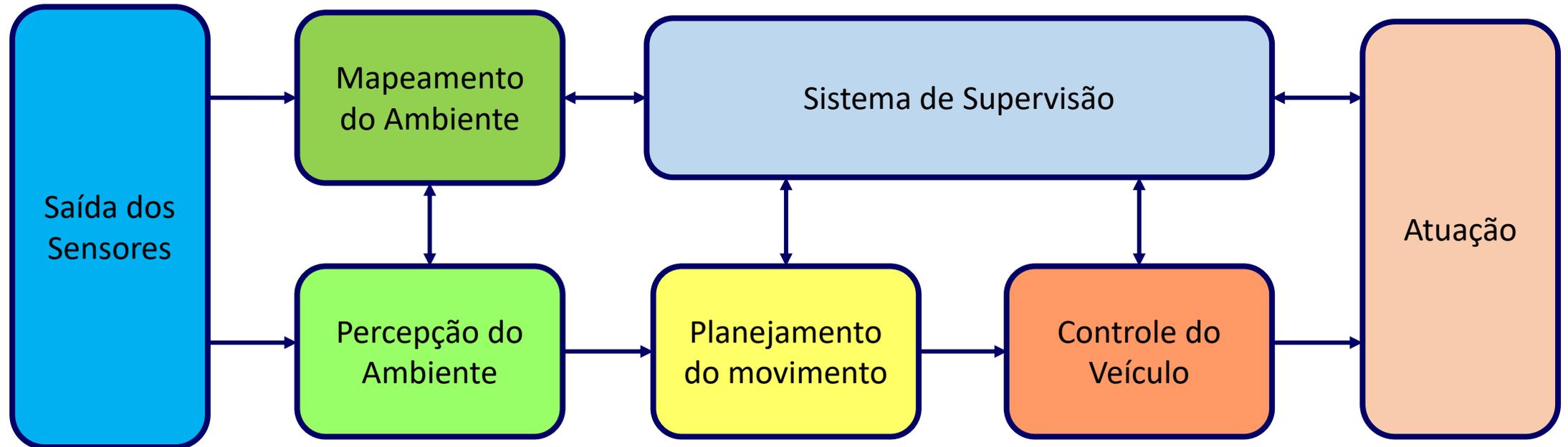
-  Parada de emergência, ultrapassagem
-  Parada de emergência, manutenção de velocidade, mudança de faixa, ultrapassagem, intersecção e rotatória
-  Ultrapassagem, intersecção
-  Ultrapassagem, intersecção
-  Rotatória



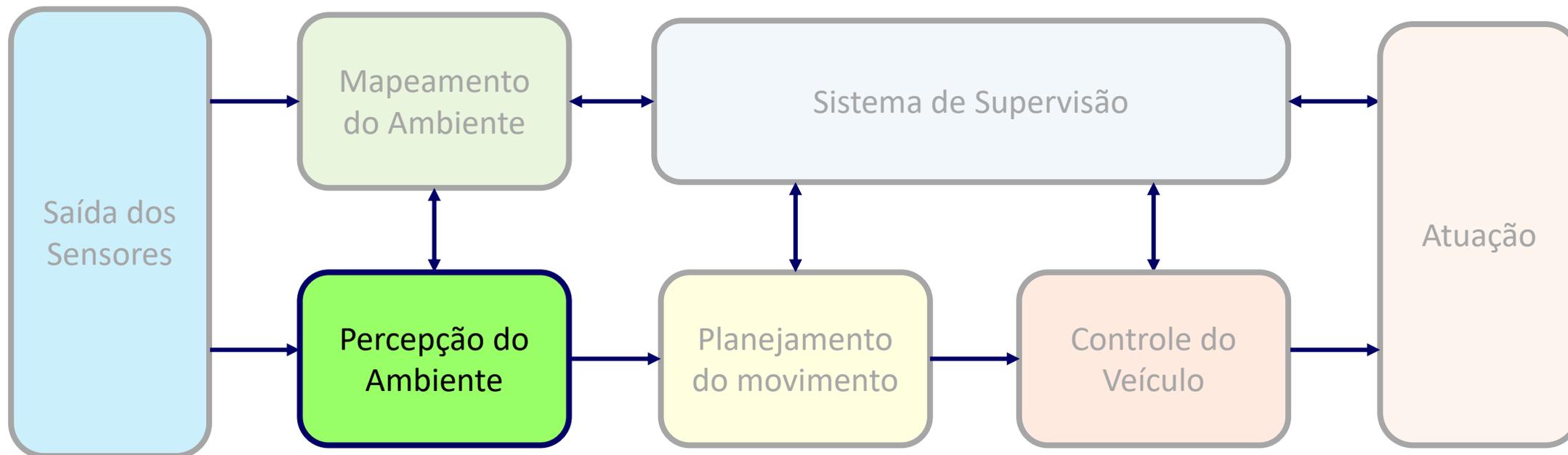
Alcance dos sensores



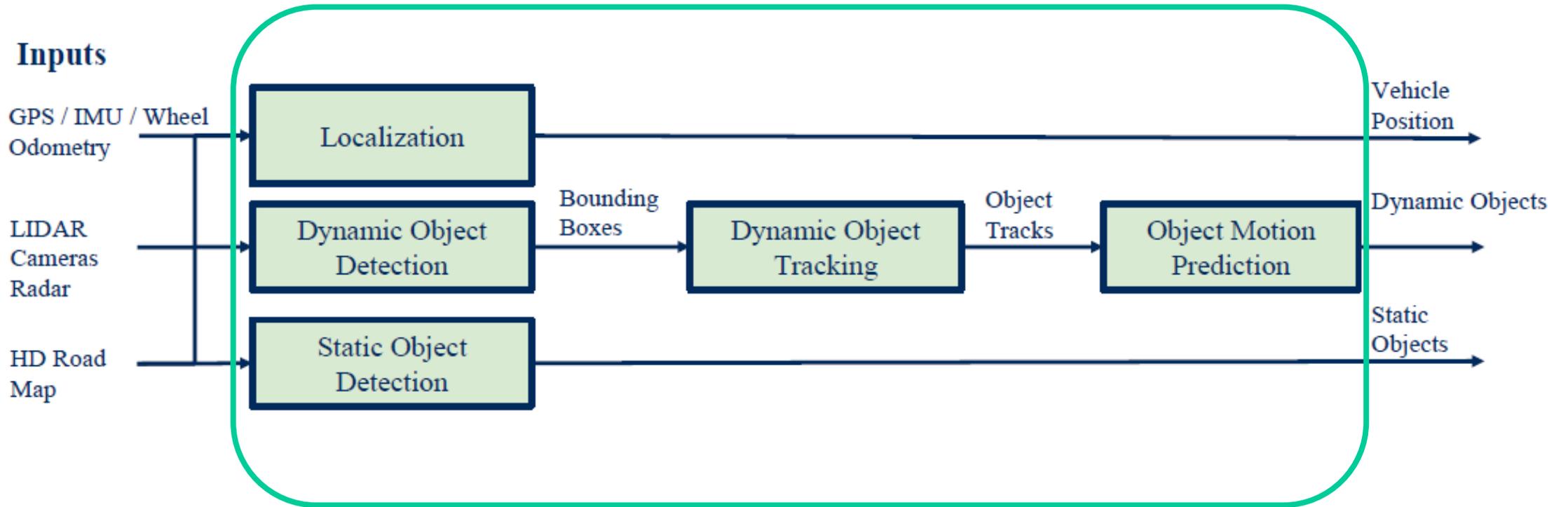
Arquitetura de Software



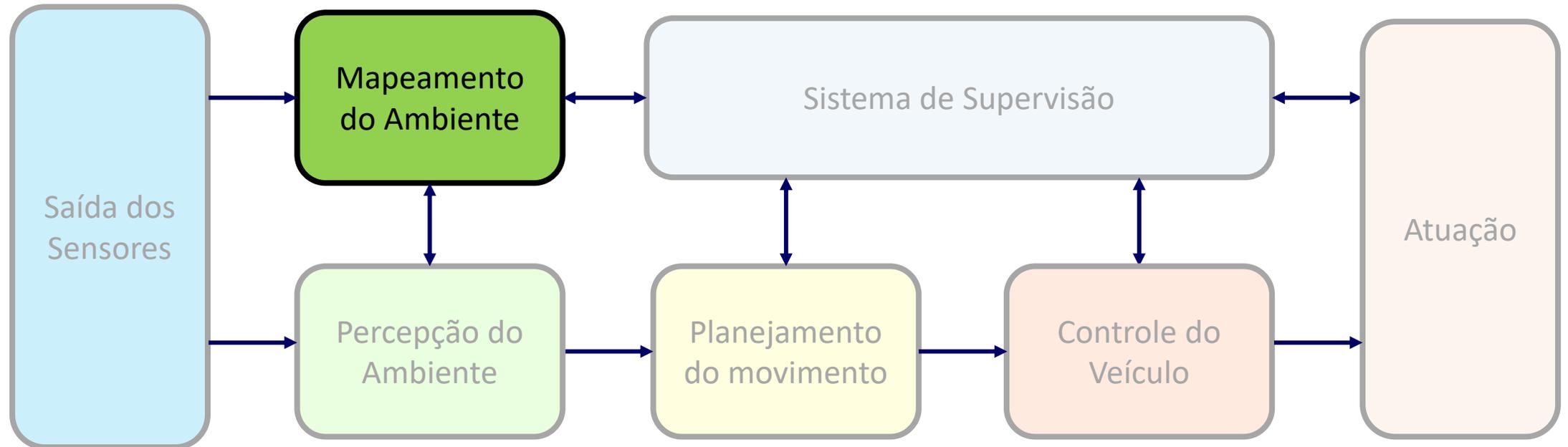
Arquitetura de Software – Percepção do ambiente



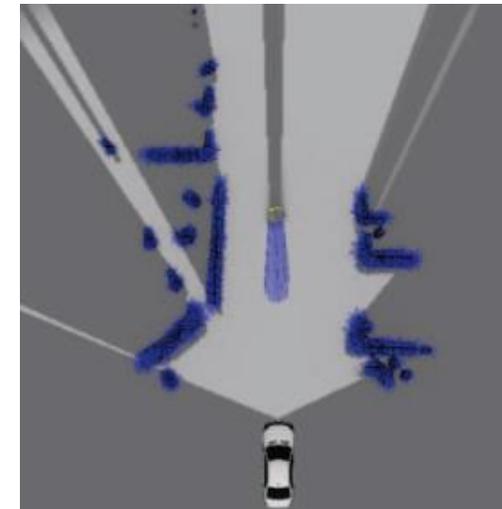
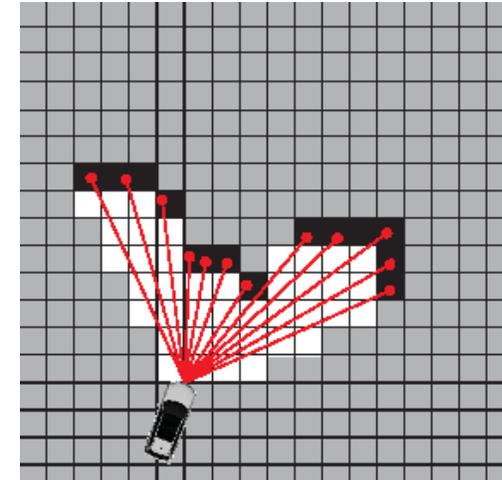
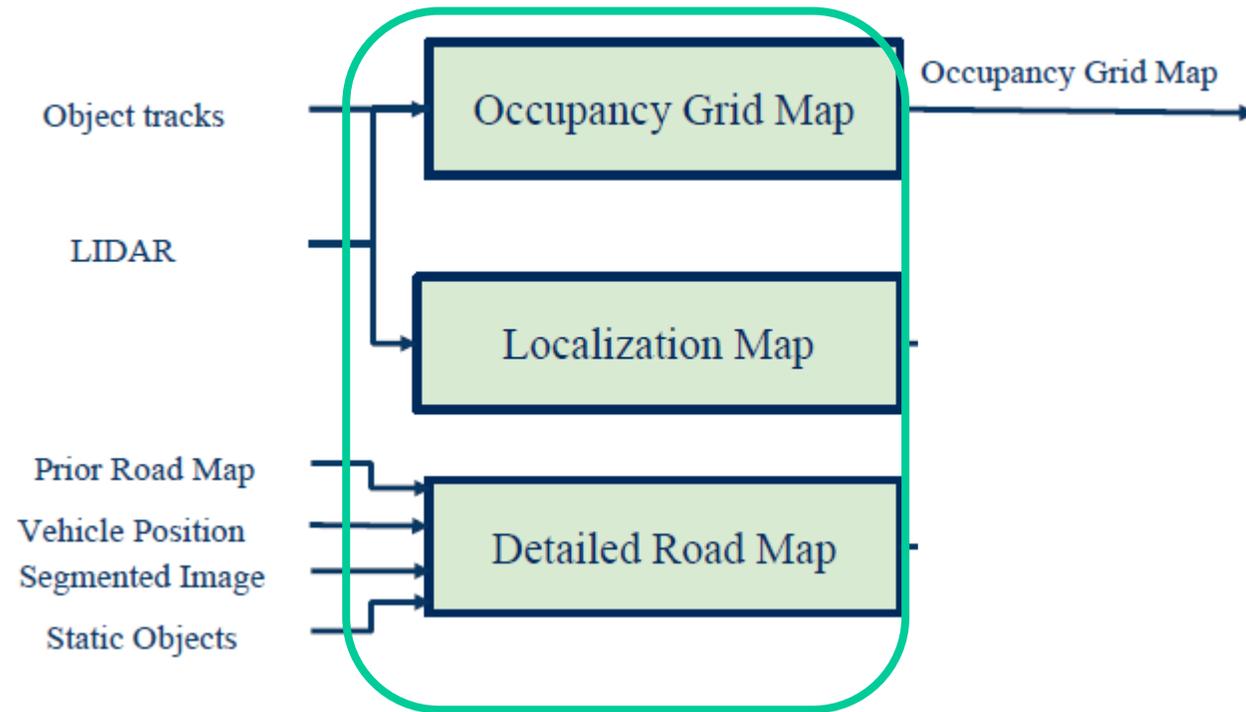
Arquitetura de Software: Percepção do ambiente



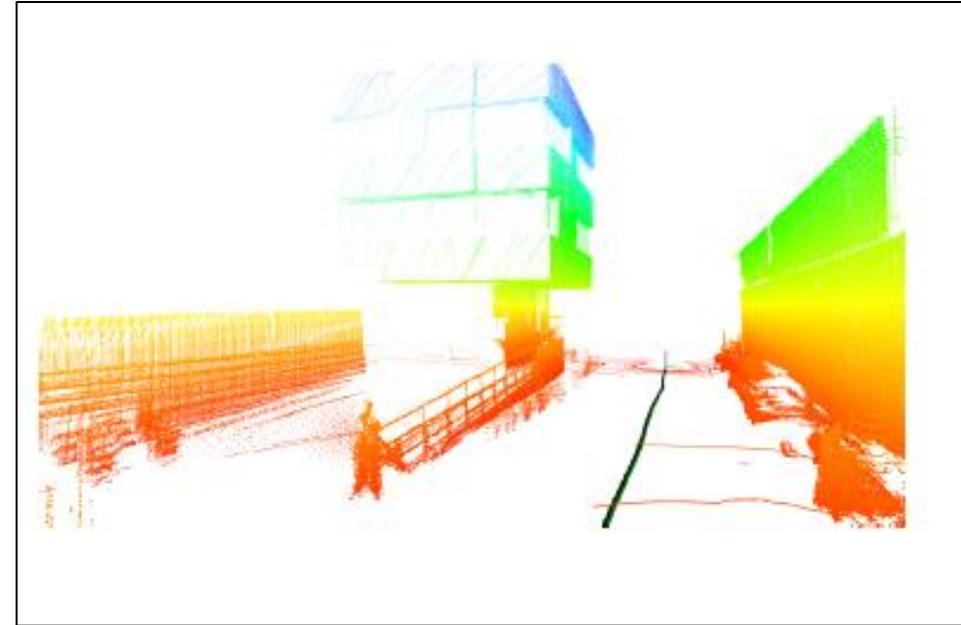
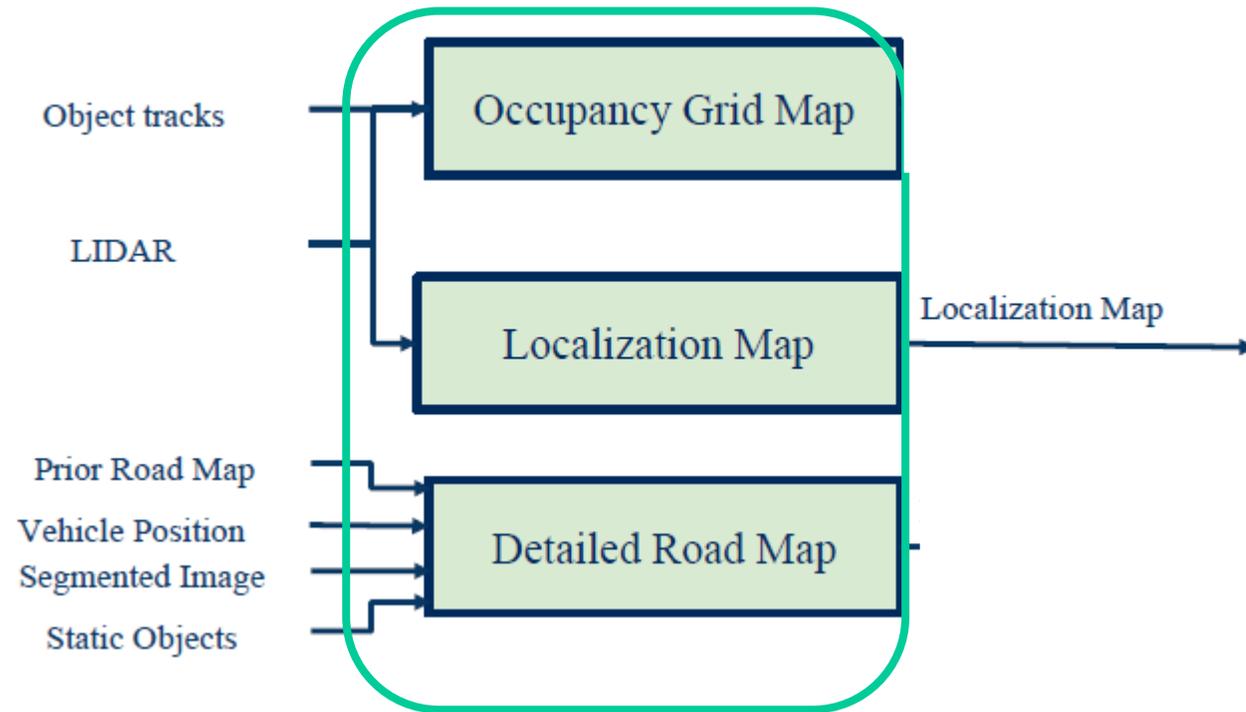
Arquitetura de Software: Mapeamento do ambiente



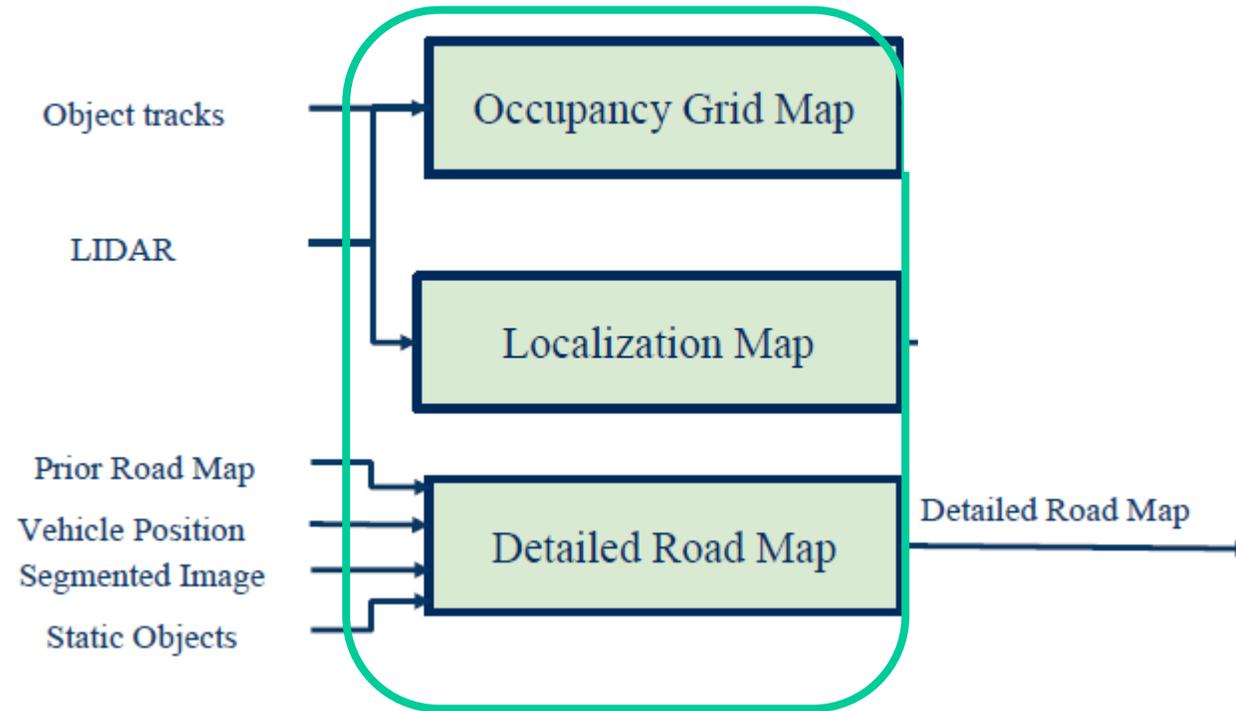
Arquitetura de Software: Mapeamento do ambiente



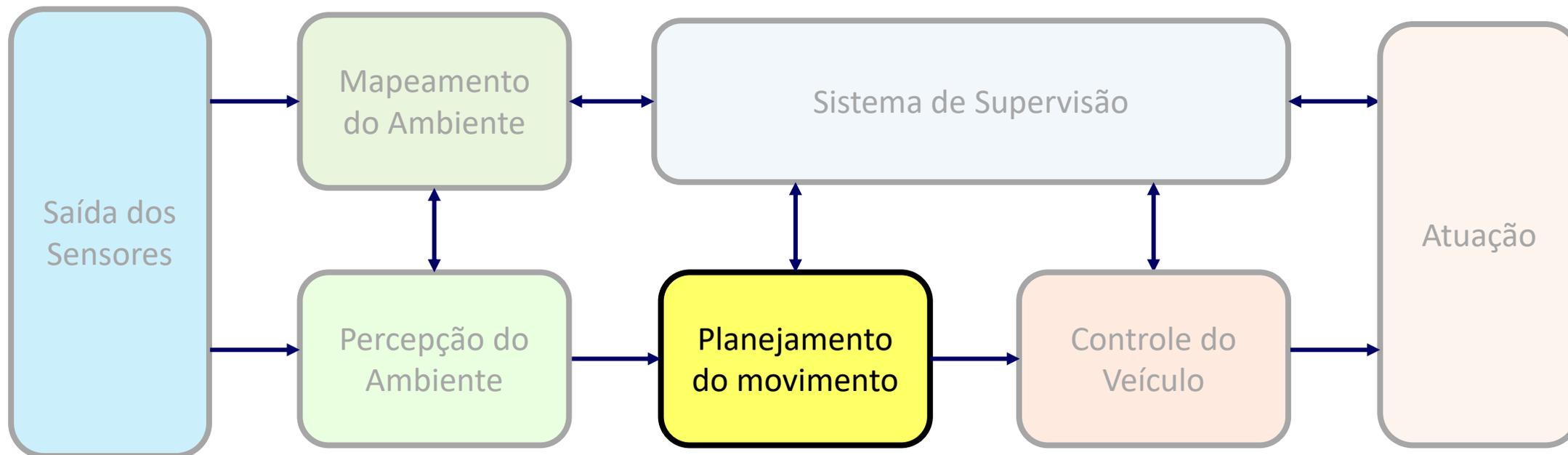
Arquitetura de Software: Mapeamento do ambiente



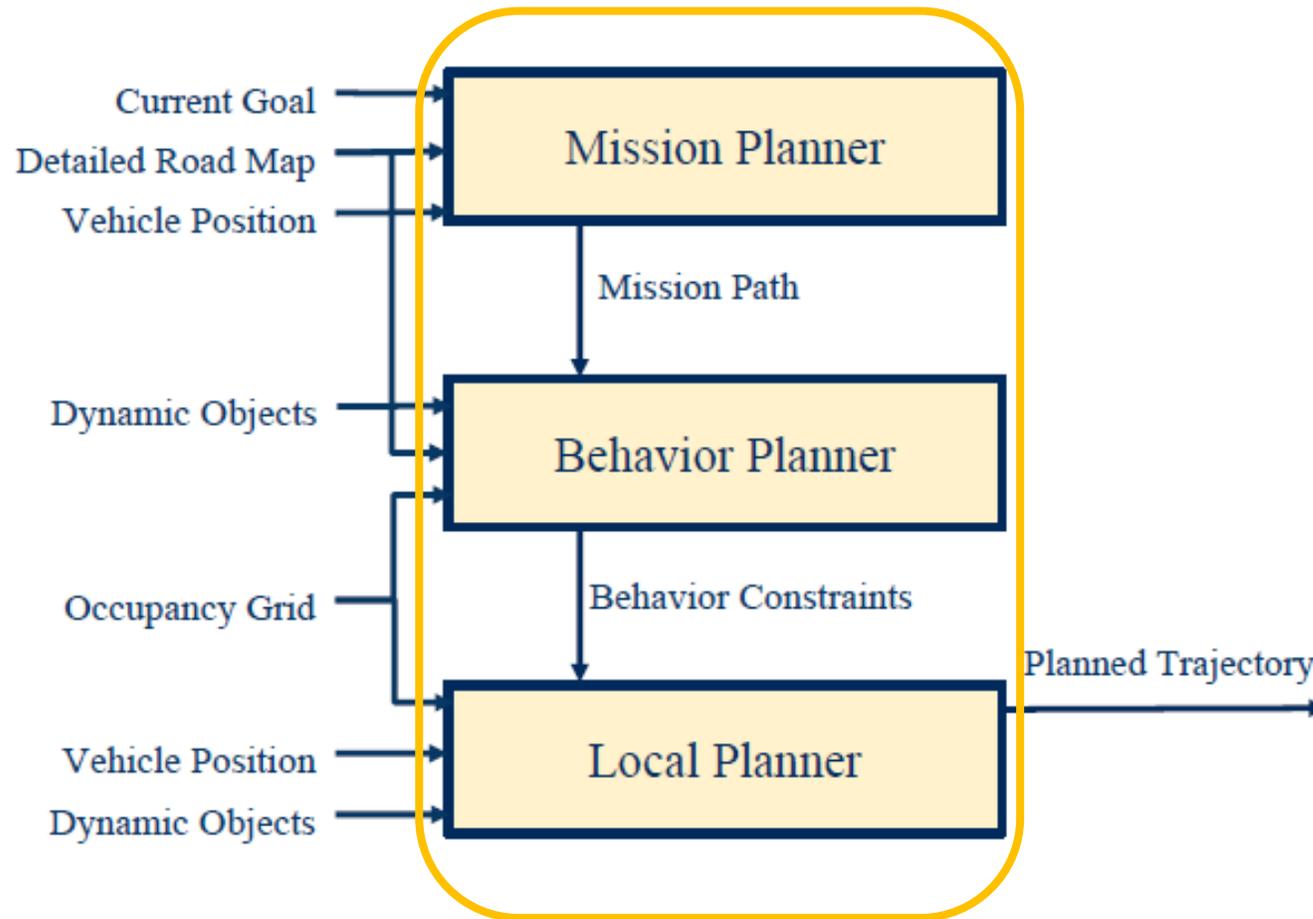
Arquitetura de Software: Mapeamento do ambiente



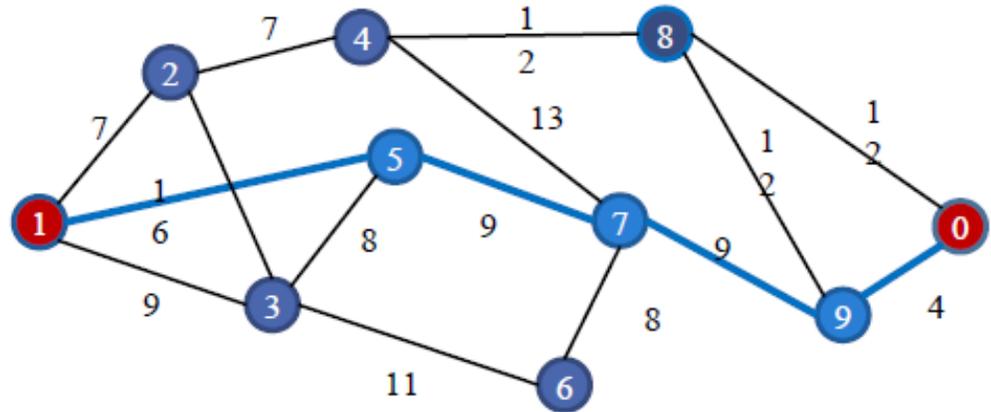
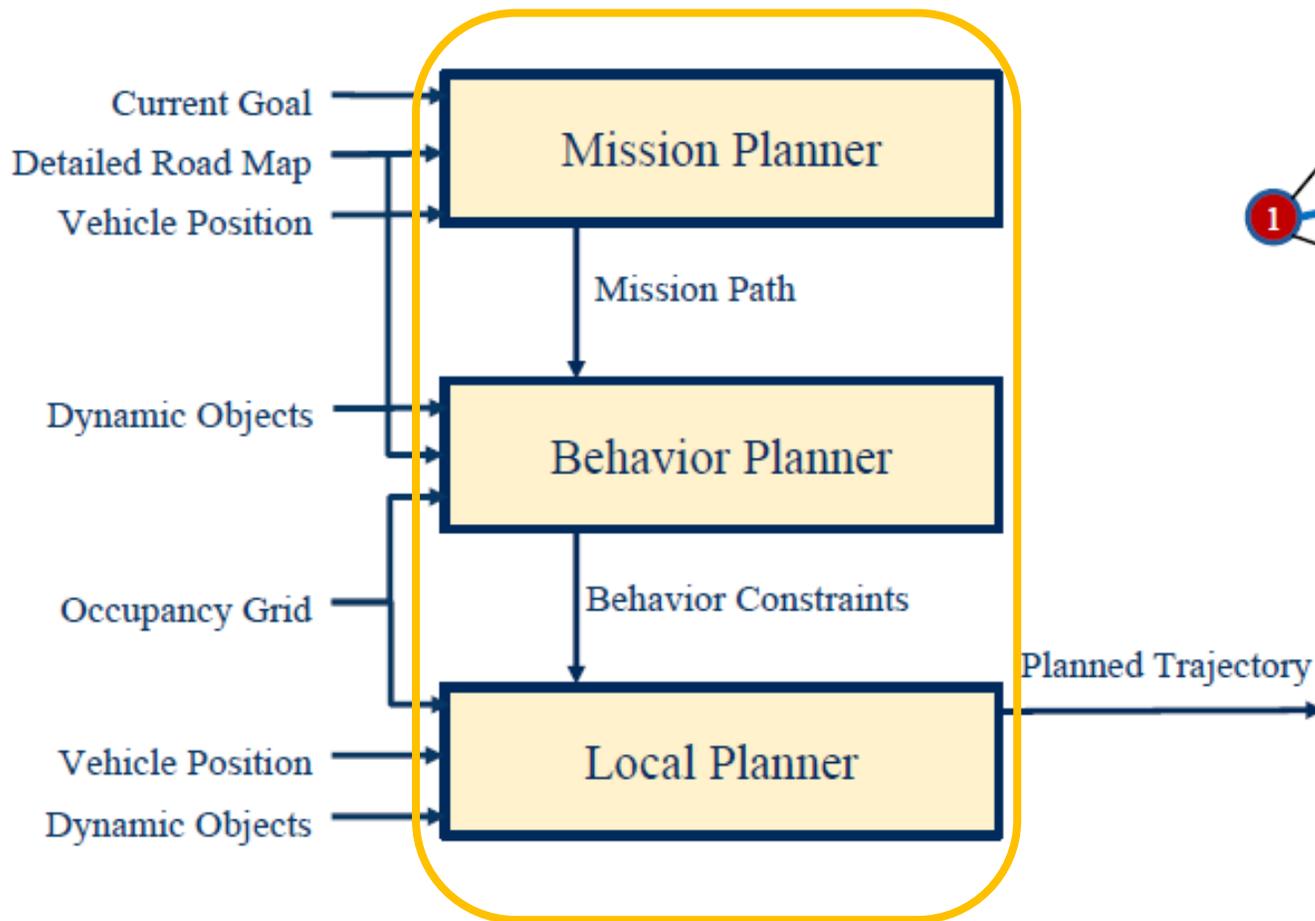
Arquitetura de Software: Planejamento do movimento



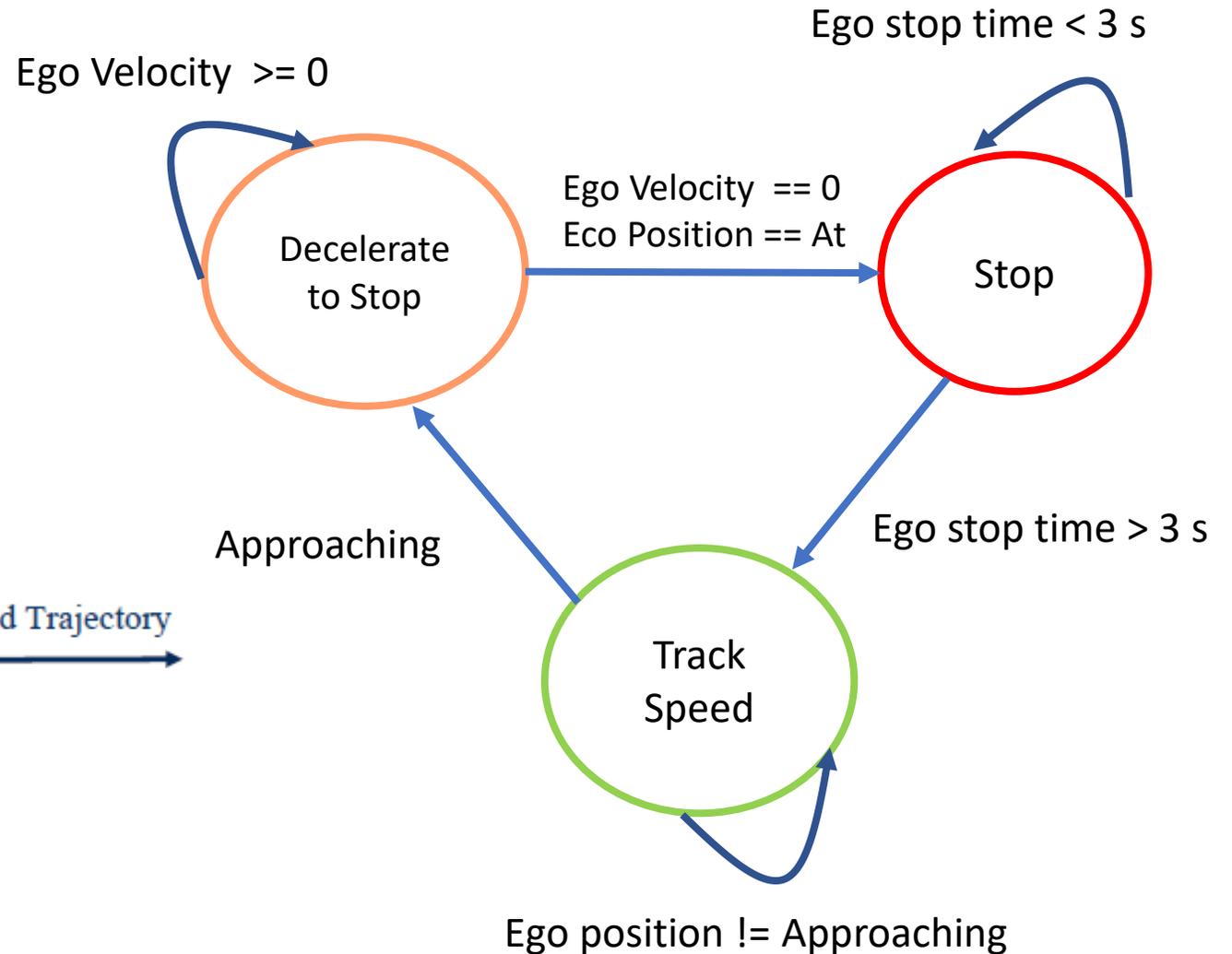
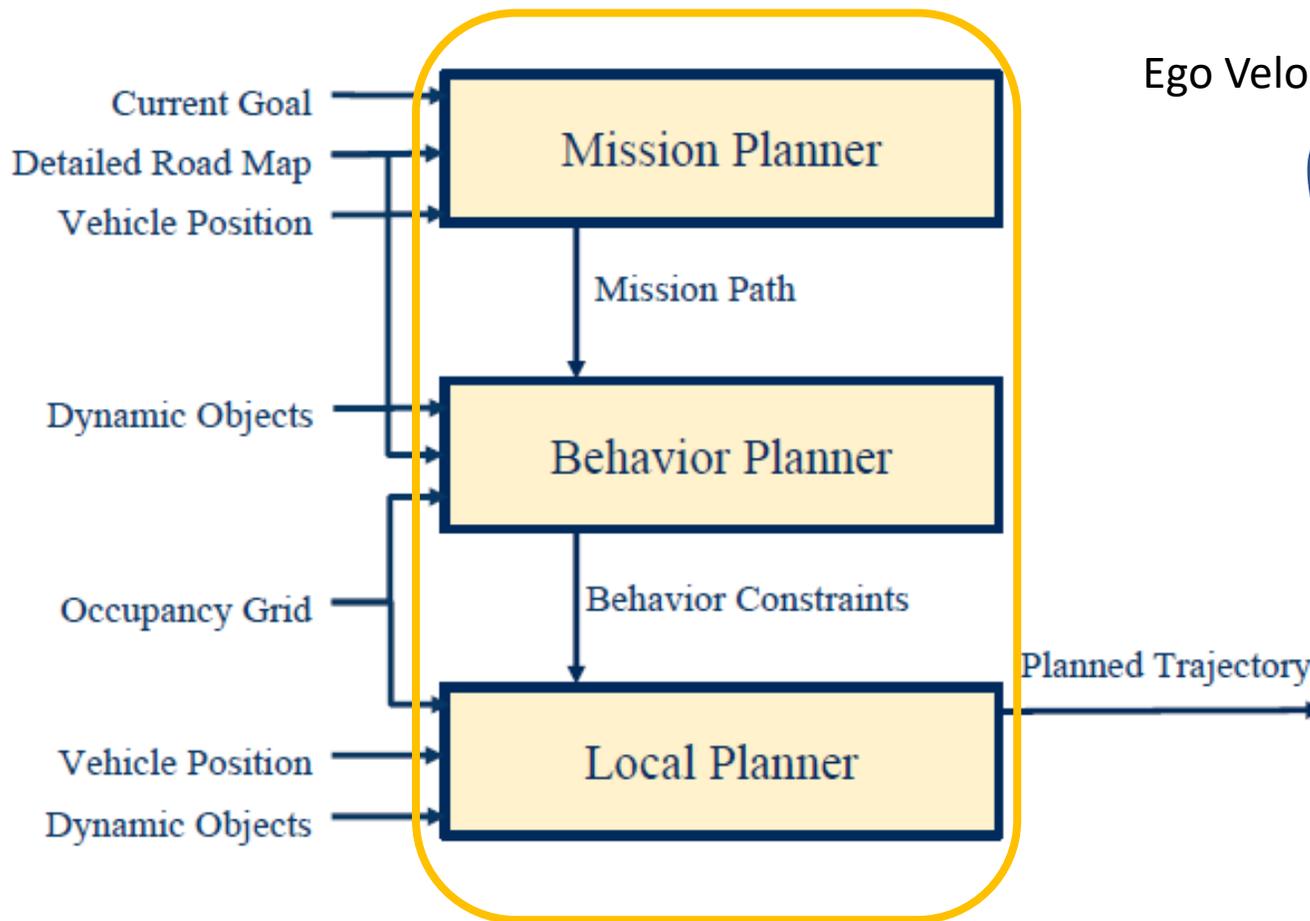
Arquitetura de Software: Planejamento do movimento



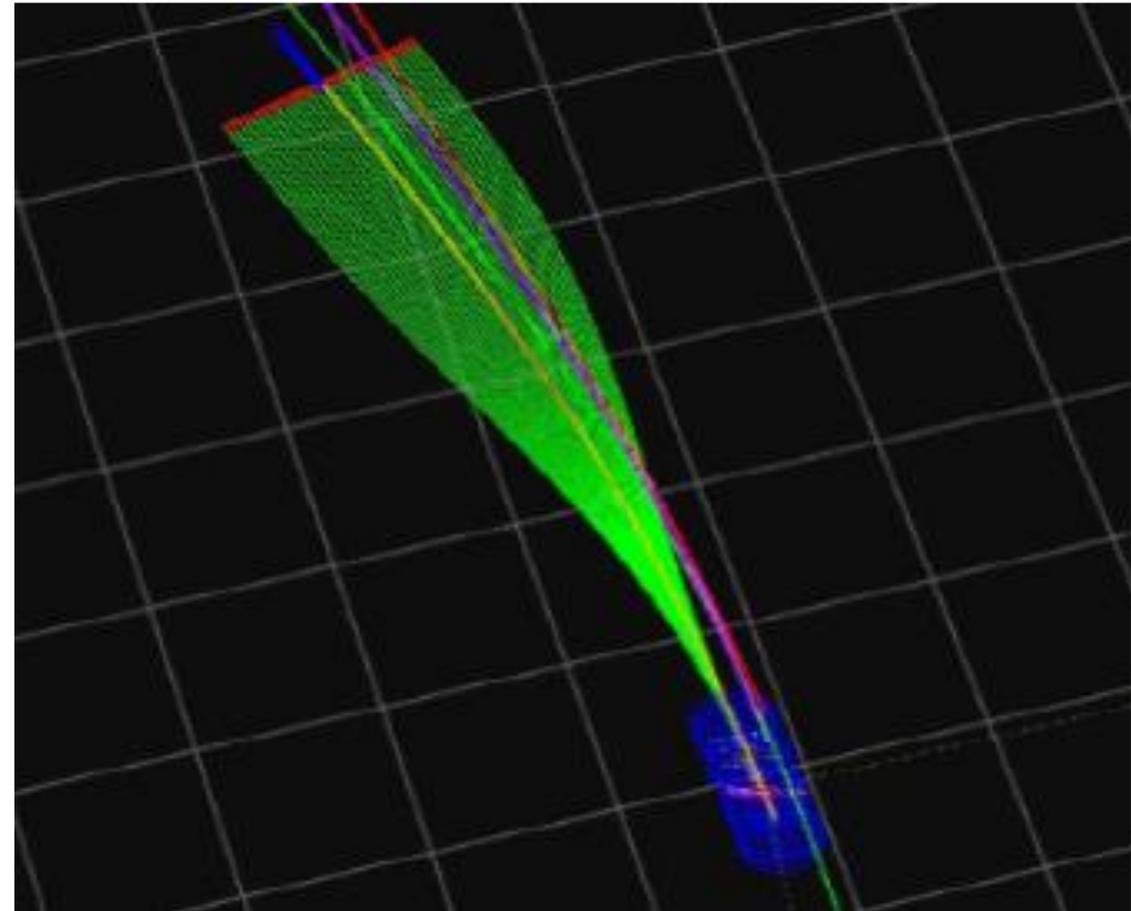
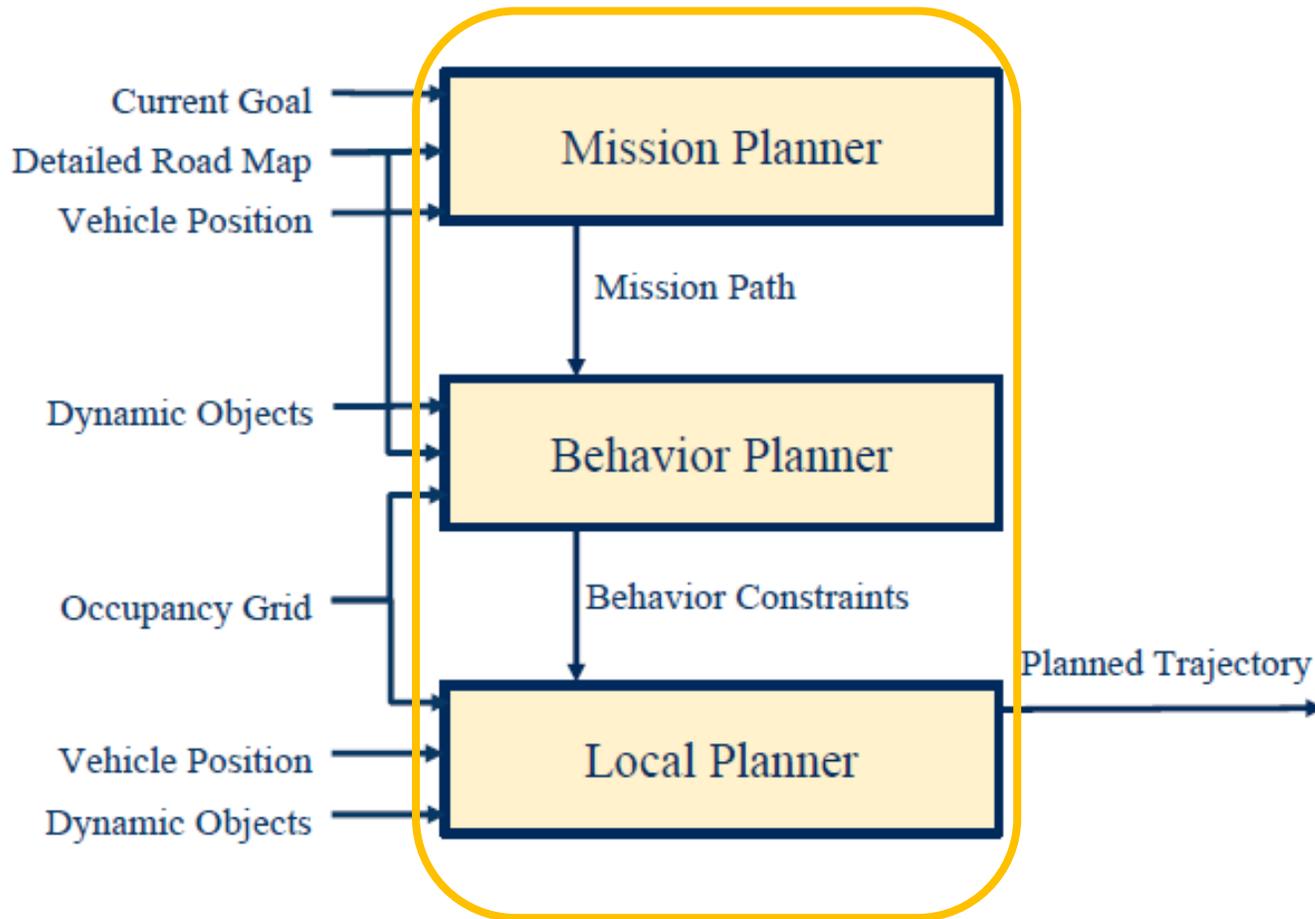
Arquitetura de Software: Planejamento do movimento



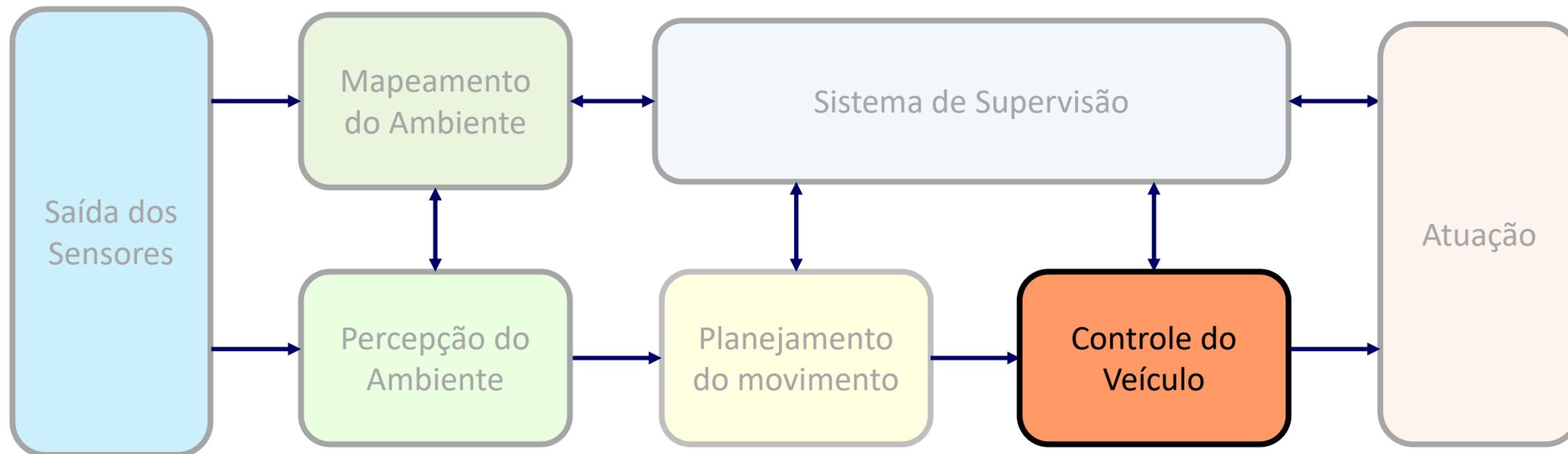
Arquitetura de Software: Planejamento do movimento



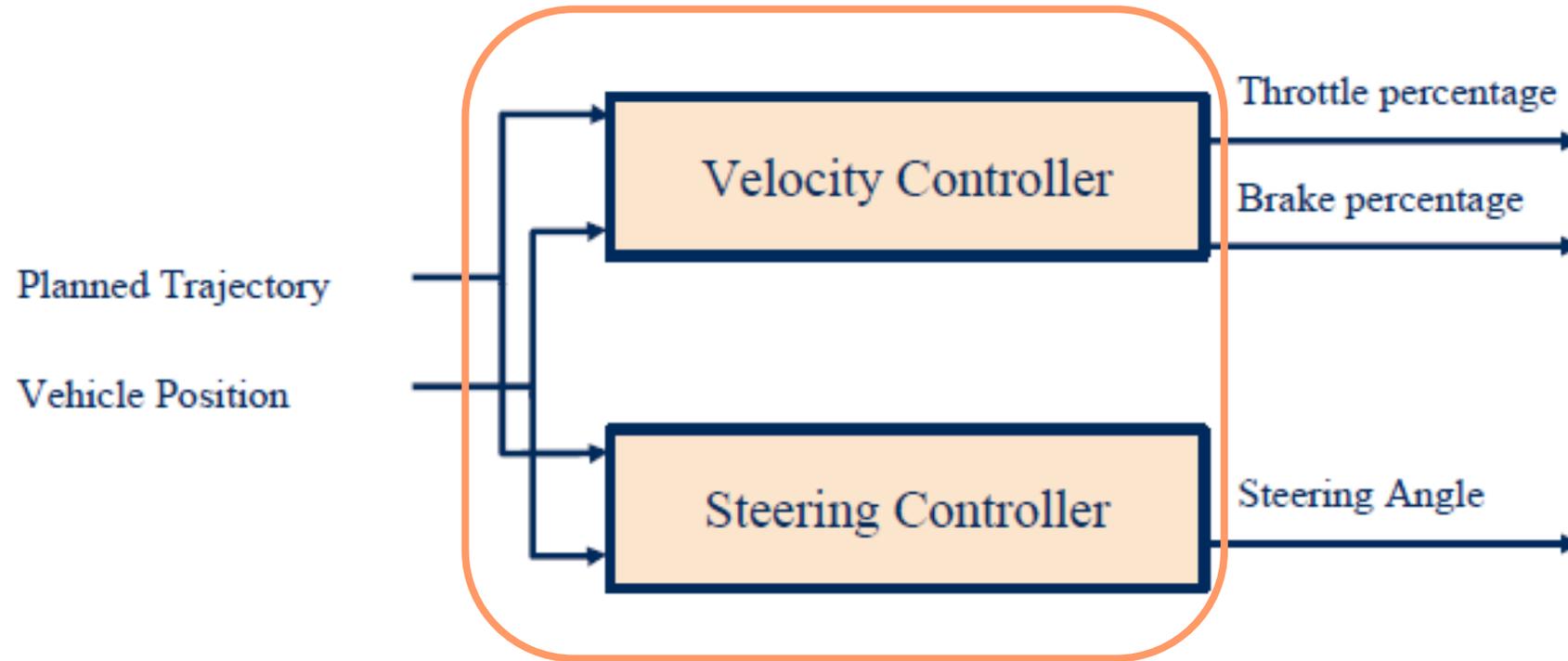
Arquitetura de Software: Planejamento do movimento



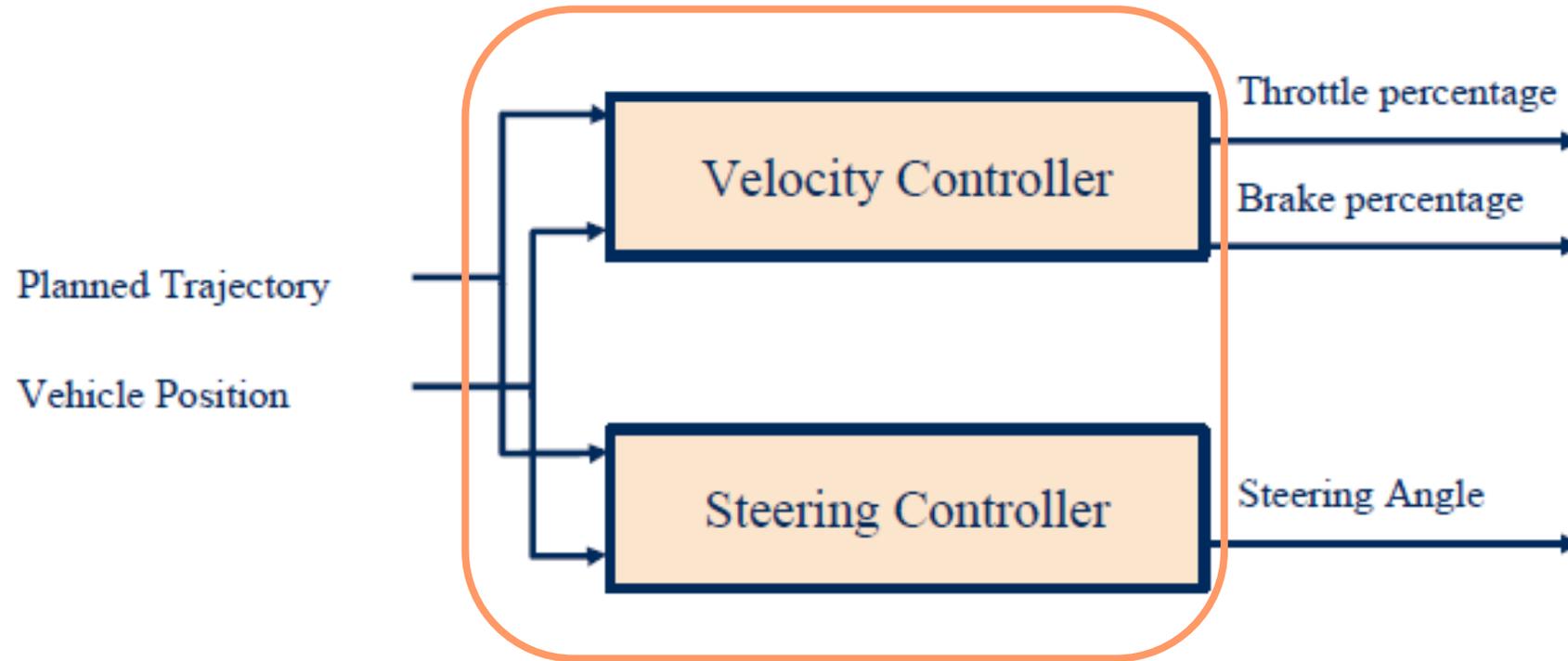
Arquitetura de Software: Controle do Veículo



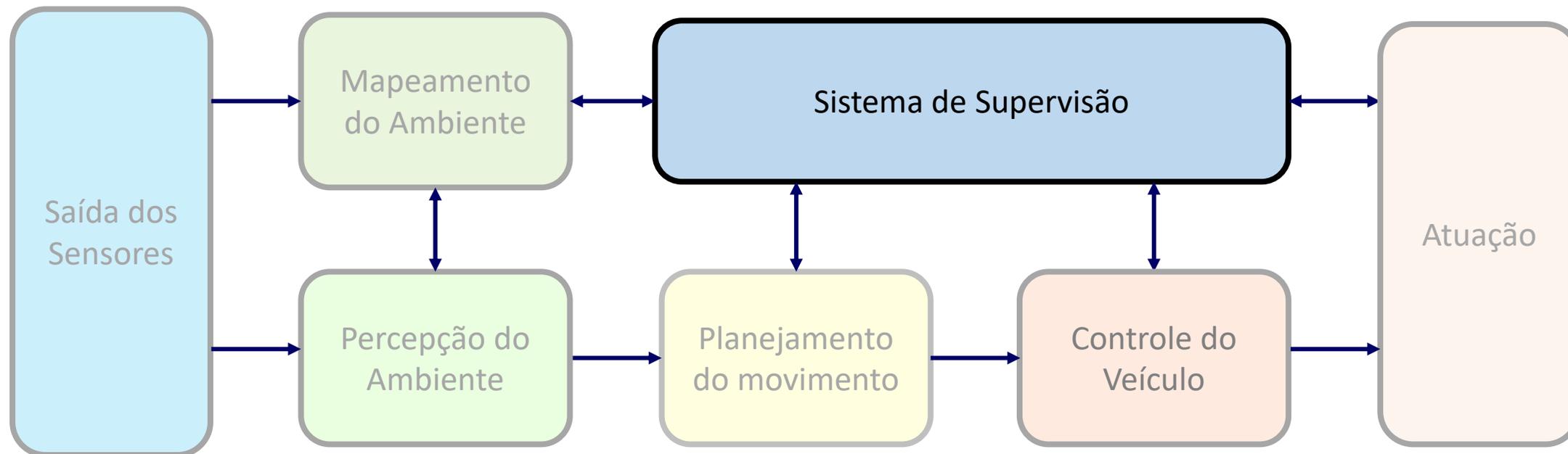
Arquitetura de Software: Controle do Veículo



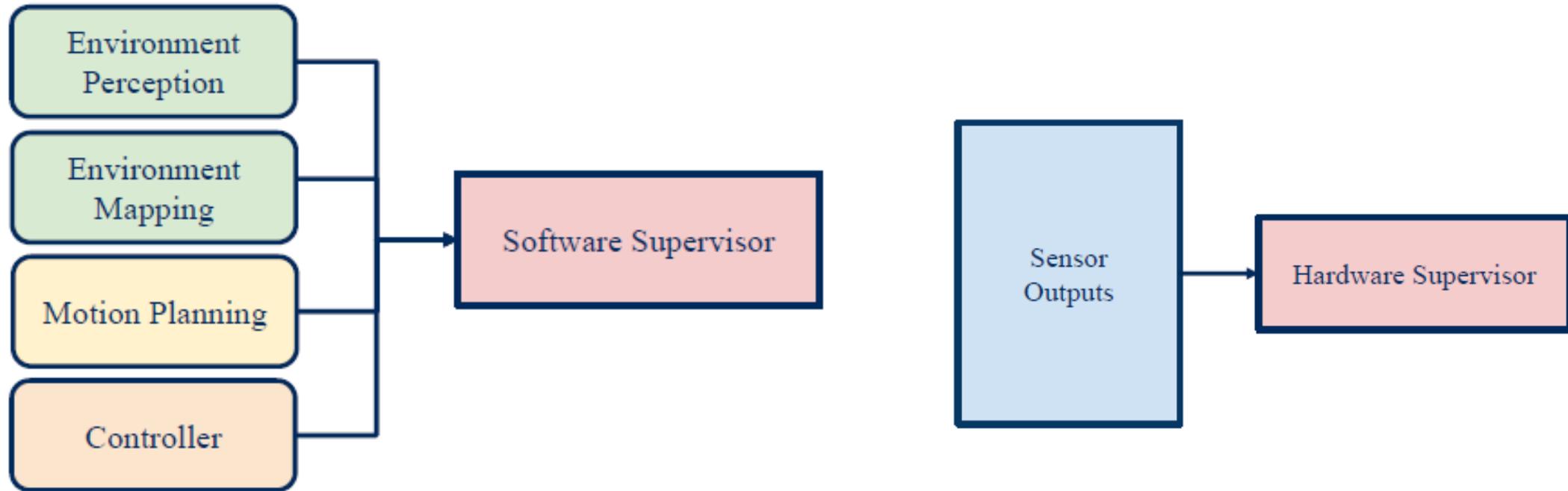
Arquitetura de Software: Controle do Veículo



Arquitetura de Software: Sistema de supervisão



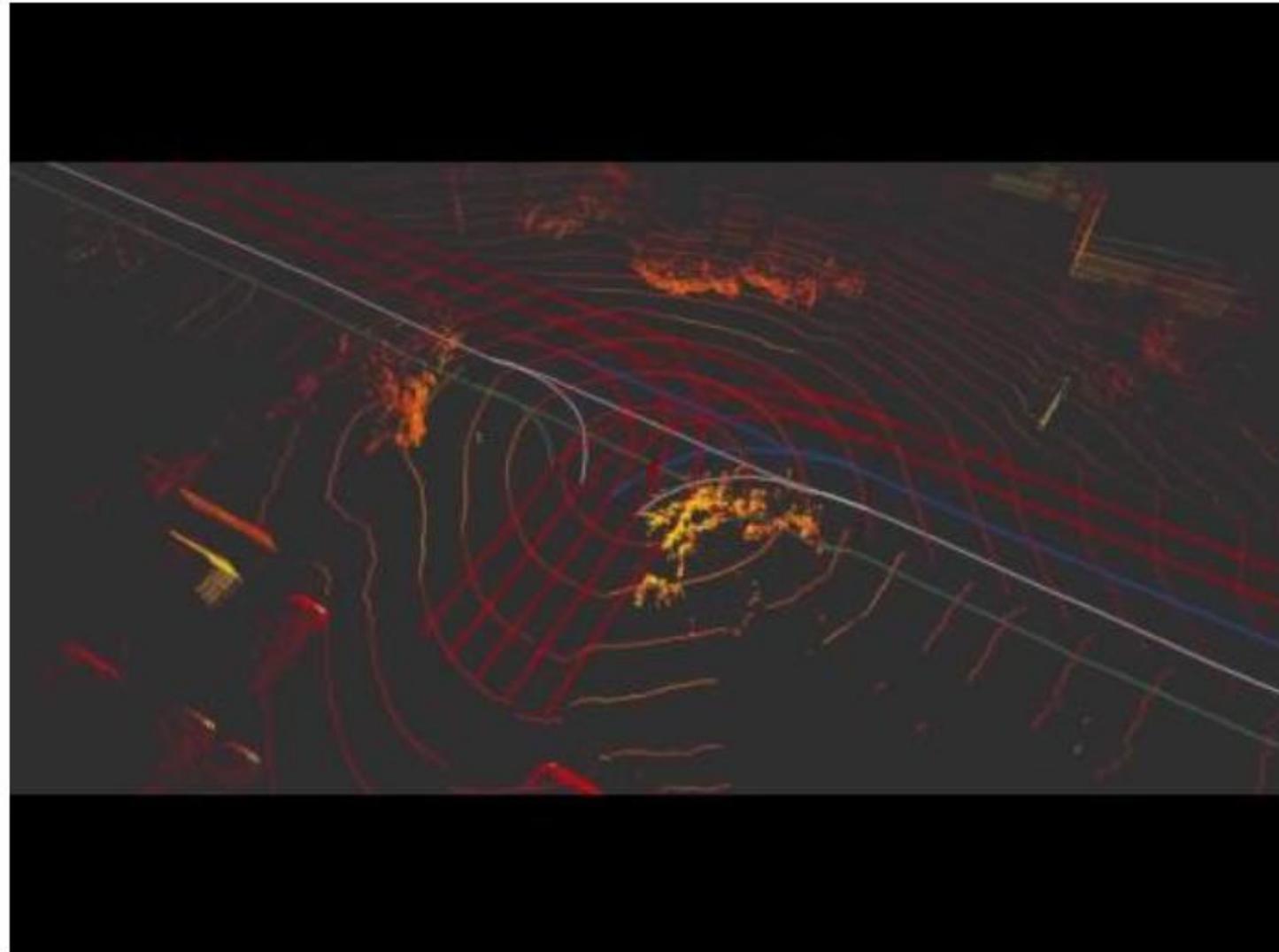
Arquitetura de Software: Sistema de supervisão



Tipos de mapas de representação do ambiente

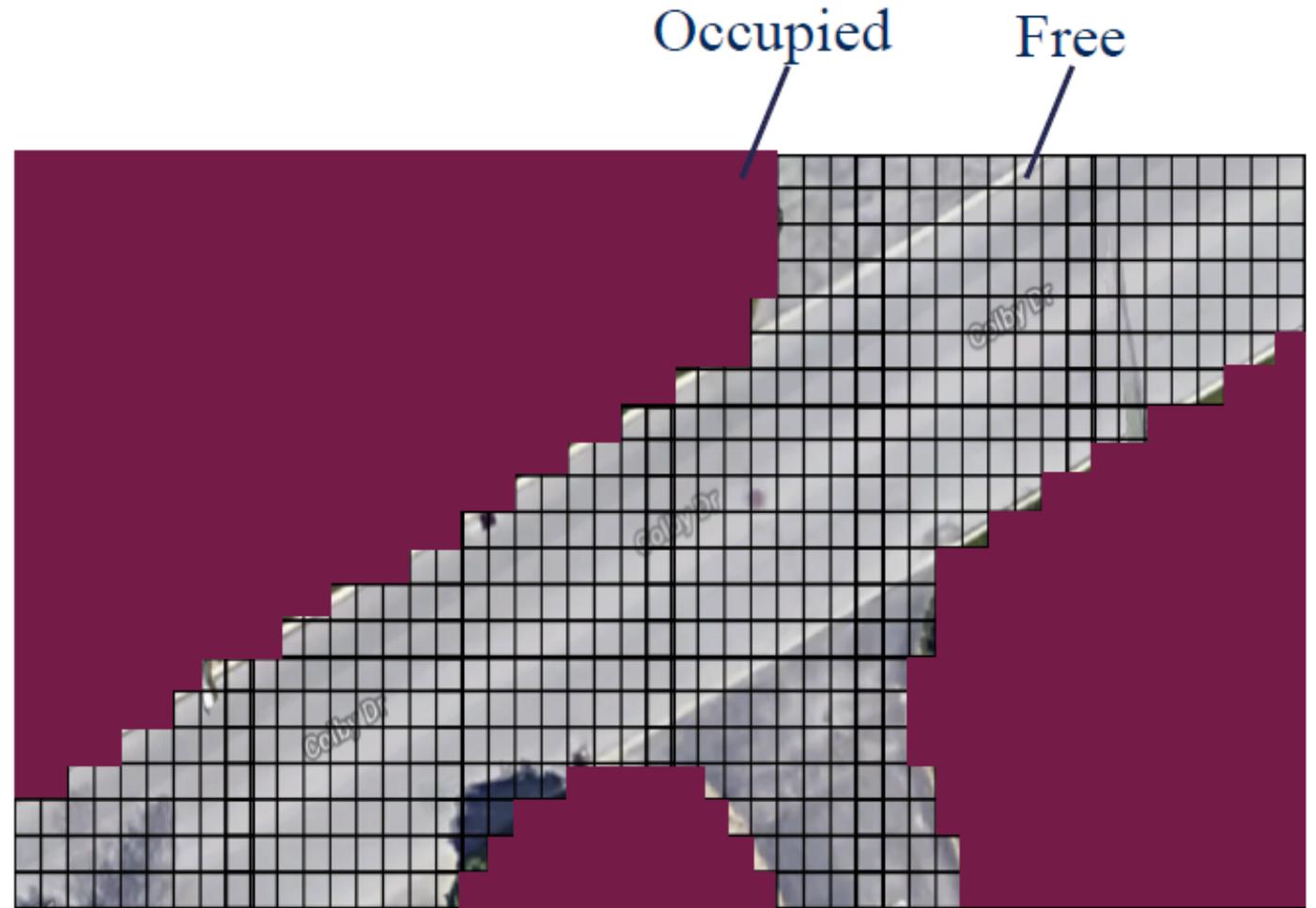
- Localização do veículo no ambiente
 - Nuvem de pontos
- Evitar colisão com objetos estáticos
 - Mapa de ocupação
- Planejamento de trajetórias
 - Mapa detalhado da via

Point cloud or Feature Map (Localization Map)

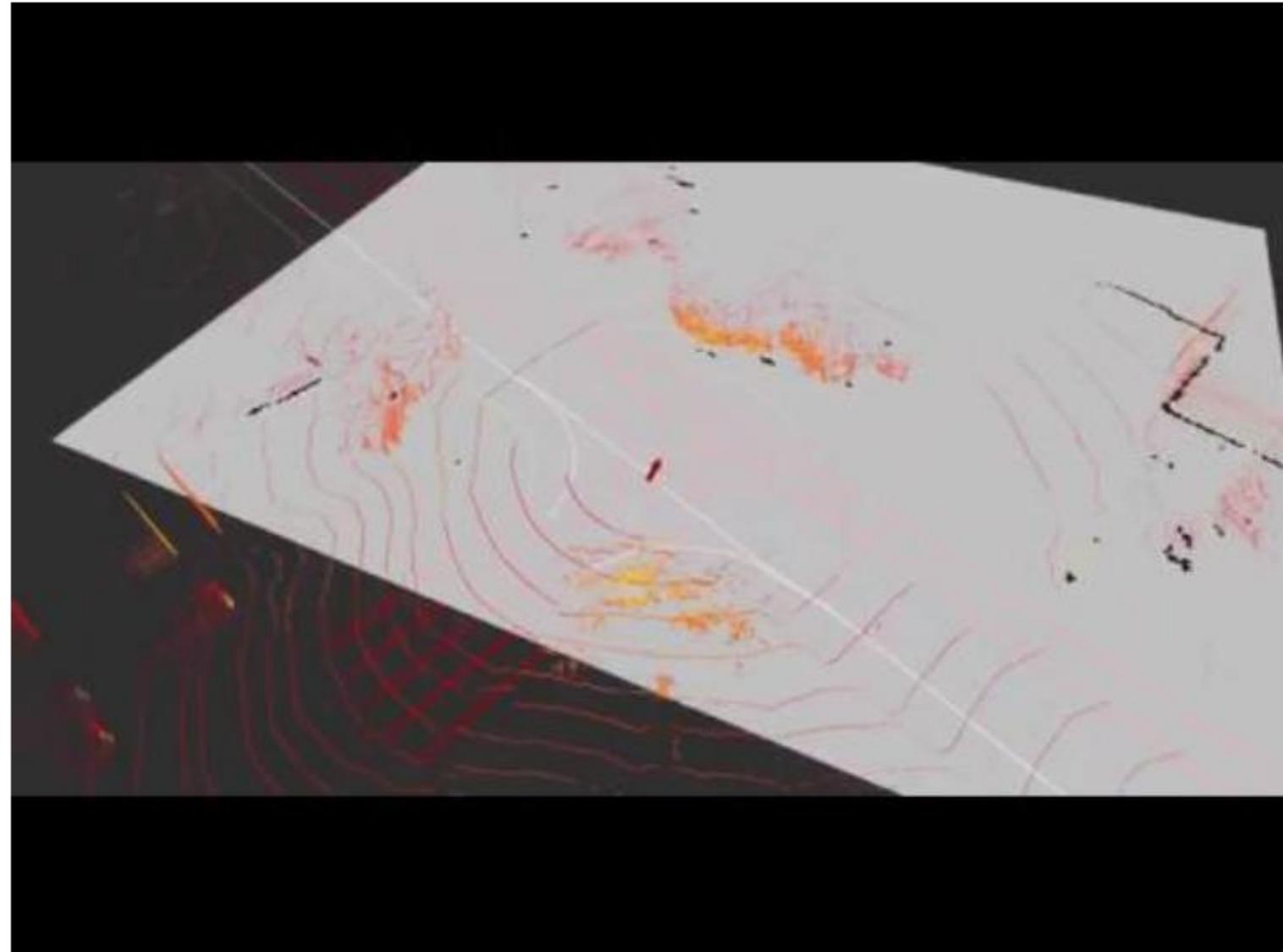


Occupancy Grid

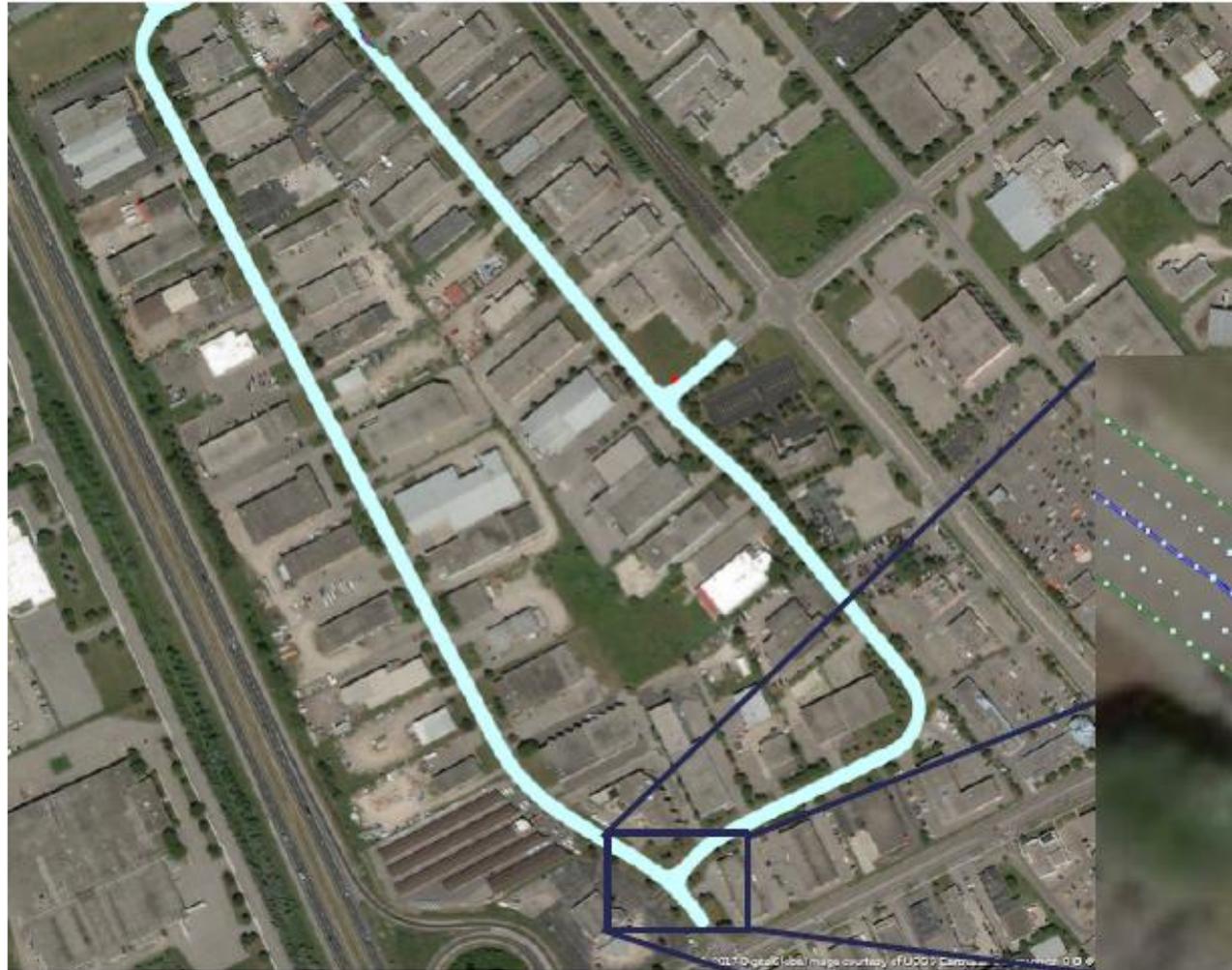
- Discretized fine grain grid map
 - Can be 2D or 3D
- Occupancy by a static object
 - Trees and buildings
- Curbs and other non drivable surfaces
 - Dynamic objects are removed



Occupancy Grid Map



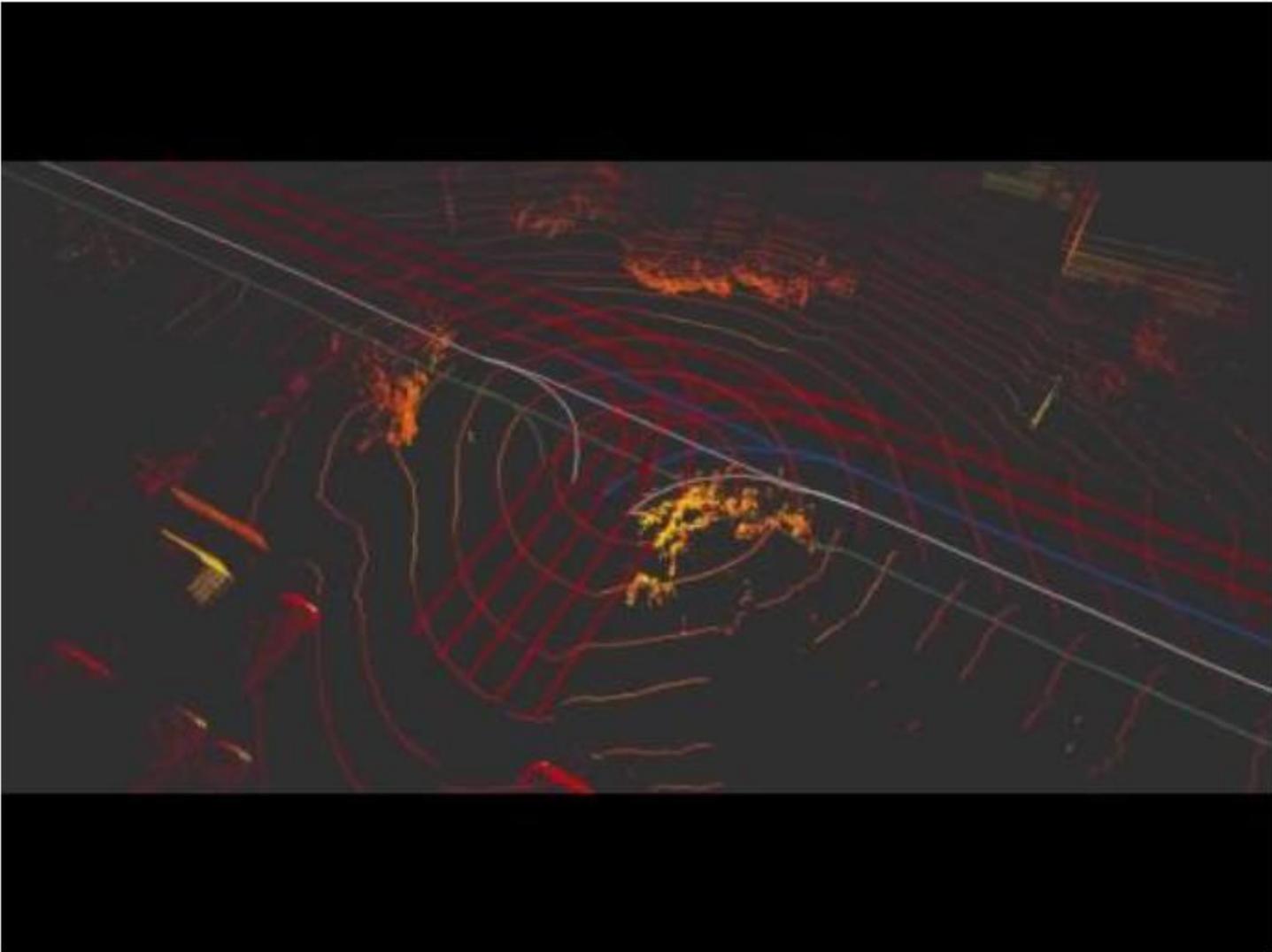
Detailed Roadmap



Traffic regulation Lane Boundaries



Detailed Roadmap



Desafio 1

Discutir em **grupo (30 min)** uma proposta de projeto de um VA para ser aplicado para realização de serviços inovadores.

Analisar ideias de:

- Serviços
- Funcionalidades
- Custos, viabilidades, restrições

Incluir a sua resposta no Relatório da **Tarefa 2**