



Deteção da Navegabilidade da Estrada para o ATLASCAR2 usando LIDAR e Inclínometria

Tiago Simões Marques

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica

Orientador: Vítor Santos
Coorientador: Miguel Oliveira

Aveiro, 26 Julho 2018

Introdução – AtlasCar2

Descrição e Objetivo:

- Carro elétrico Mitsubishi i-MIEV
- Veículo instrumentado com uma vasta gama de sensores
- Desenvolvimento de aplicações de condução autónoma e de assistência ao condutor

Sensores:

- Antena de GPS
- Câmera Point Grey Zebra 2
- 2 Sensores LMS151
- 4 Sensores SICK DT20 Hi
- **Sensor LIDAR SICK LD-MRS**



Introdução – Objetivos

Problema:

- Necessidade de detetar obstáculos no plano da estrada, como passeios, lancis, ou até lombas e buracos no pavimento
- Variações na orientação do veículo durante navegação influenciam as leituras dos sensores

Objetivos:

- Usar informação de inclinometria para representar corretamente as leituras dos sensores
- Efetuar a reconstrução da zona de estrada em frente ao veículo
- Usar essa reconstrução para extrair os obstáculos à navegação, em tempo real
- Testar o funcionamento do método em situações reais



Infraestrutura experimental - Hardware

Módulo de Posicionamento

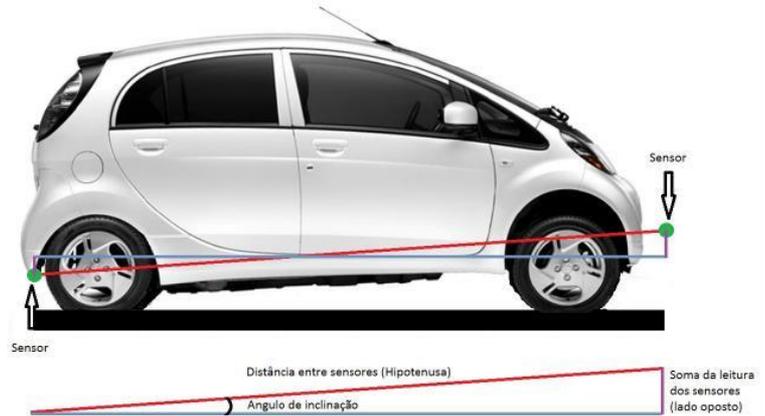


NovAtel GPS-702-GG
Antena



NovAtel SPAN-IGM-A1

Módulo de Orientação



Sistema de Inclínometria



SICK DT20 Hi



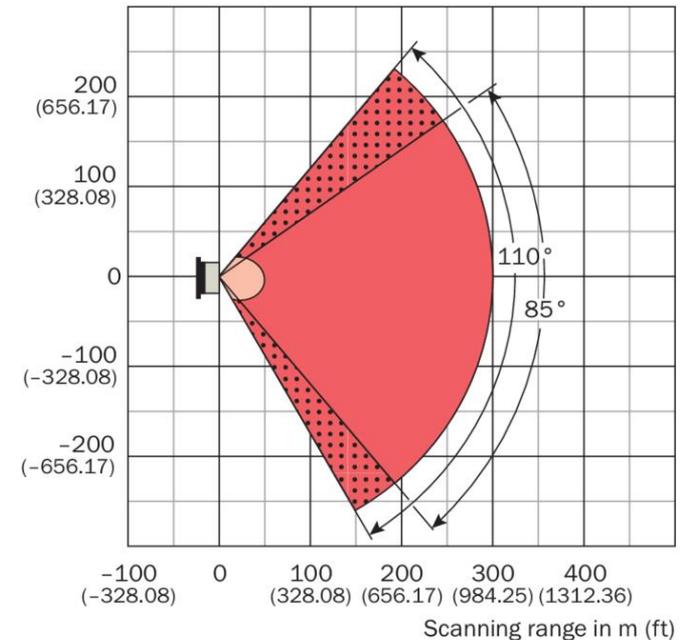
Infraestrutura experimental - Hardware



Especificações – SICK LD-MRS400001

Operating Range	0,5 m to 300 m
Scan planes	4; 2.4° total vertical aperture
Field of view	4 planes: 85° 2 planes: 110°
Systematic error	±300 mm
Statistical error	100 mm

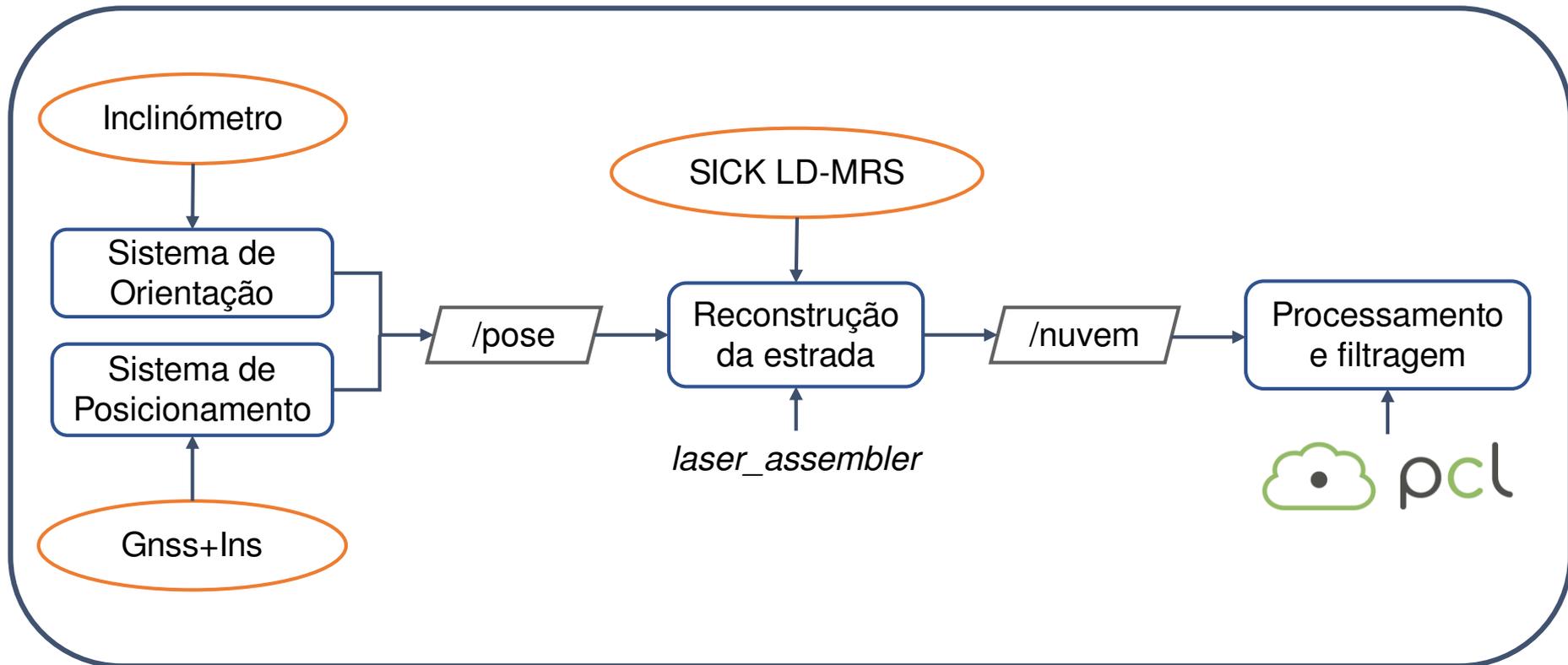
Scanning range in m (ft)



- Scanning range max. 300 m (984.25 ft)
- Scanning range for objects up to 10 % remission 50 m (164.04 ft)
- 2 measuring layers
- 4 measuring layers

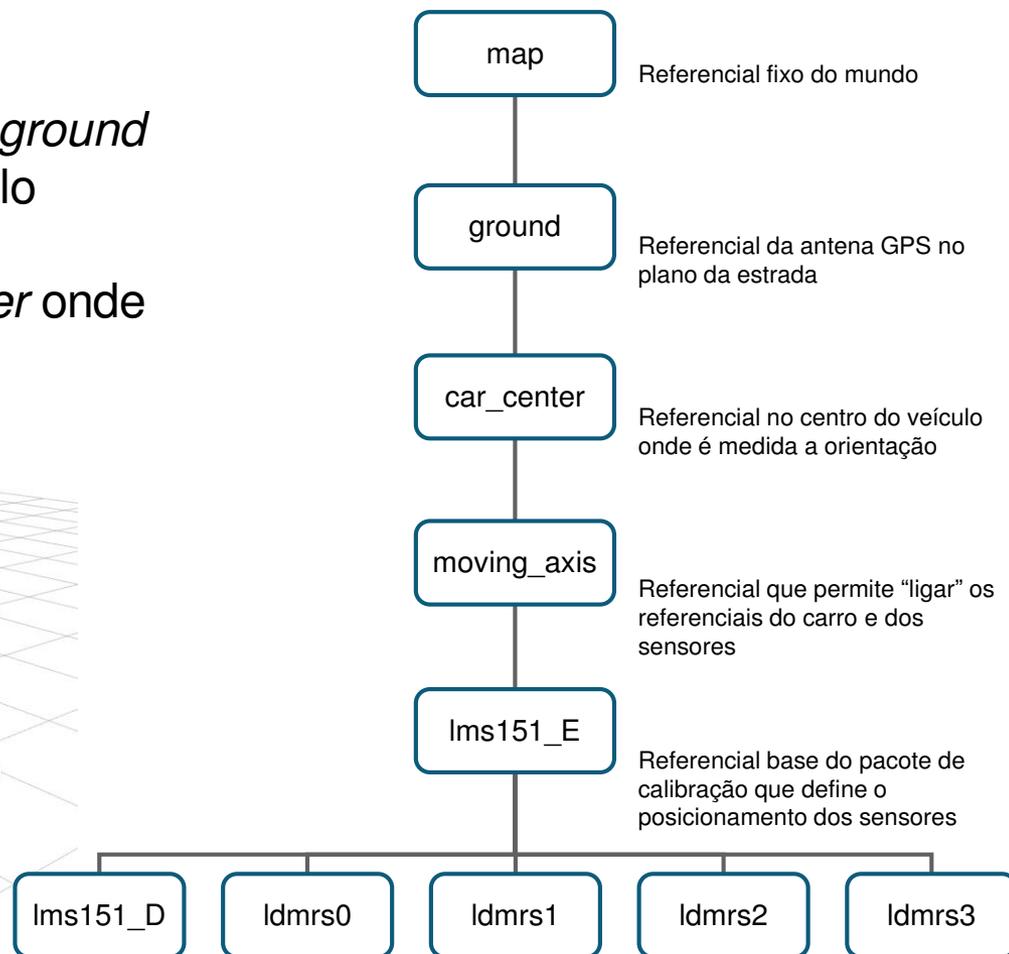
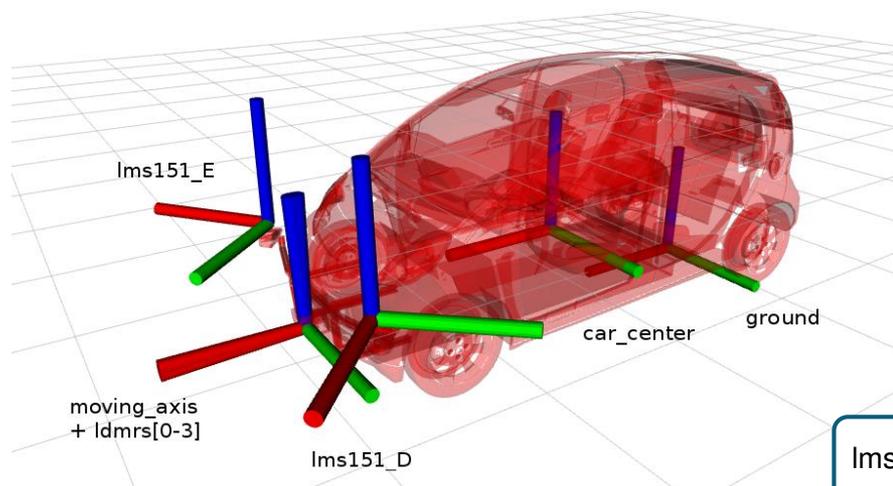


ROS



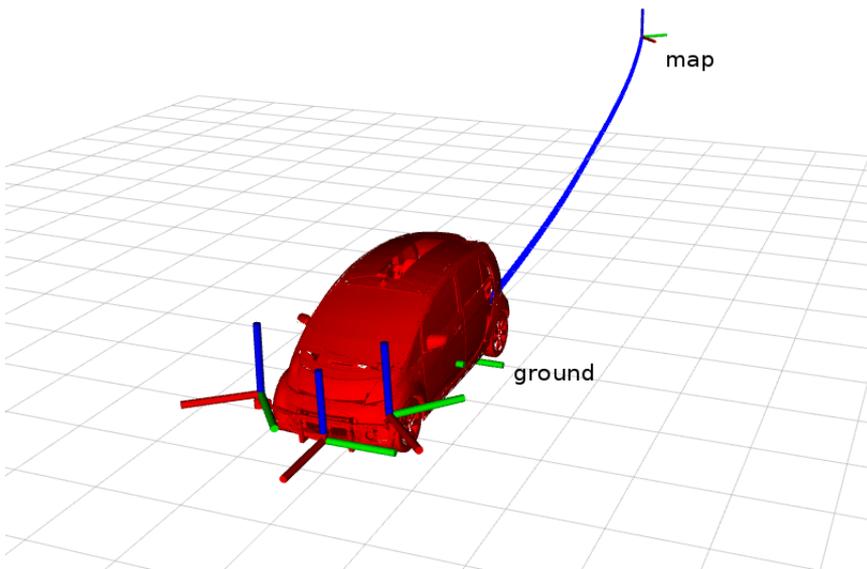
Reestruturação da Árvore de Referenciais

- Criação dos referenciais *map* e *ground* que refletem a posição do veículo
- Criação do referencial *car_center* onde são medidas as orientações

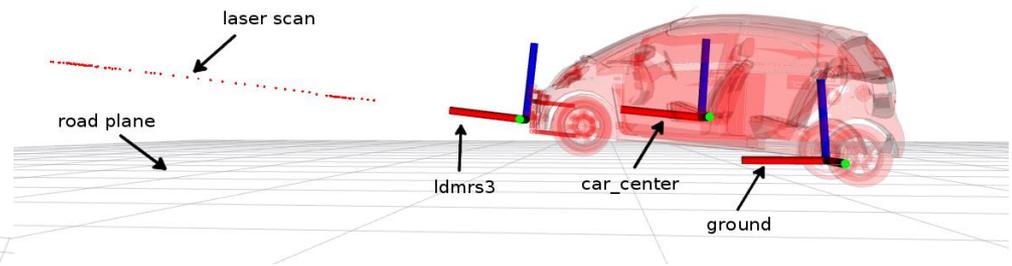


Exemplos do Funcionamento dos Referenciais

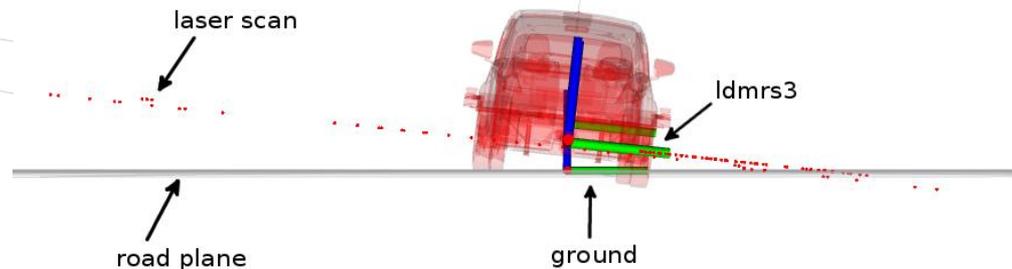
Posicionamento global



Efeito de uma variação artificial no *Pitch* do veículo

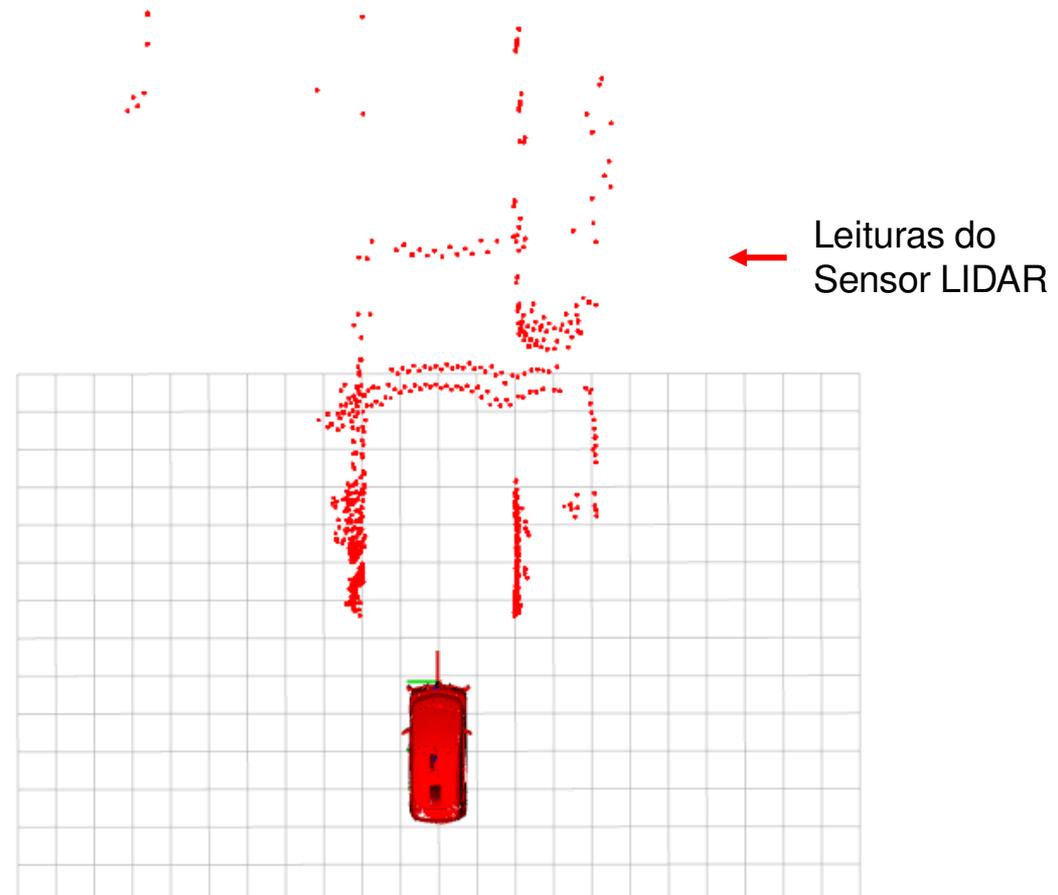


Efeito de uma variação artificial no *Roll* do veículo



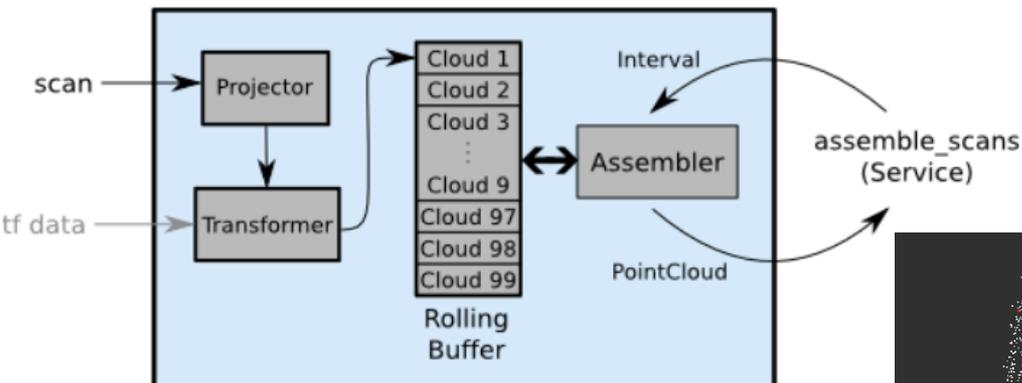
Reconstrução da Estrada – Projeção dos Feixes Laser

- Natureza não convencional das leituras do sensor LIDAR
- Leituras fornecem pouca informação sobre a geometria da estrada
- Necessidade de aumentar o número de leituras

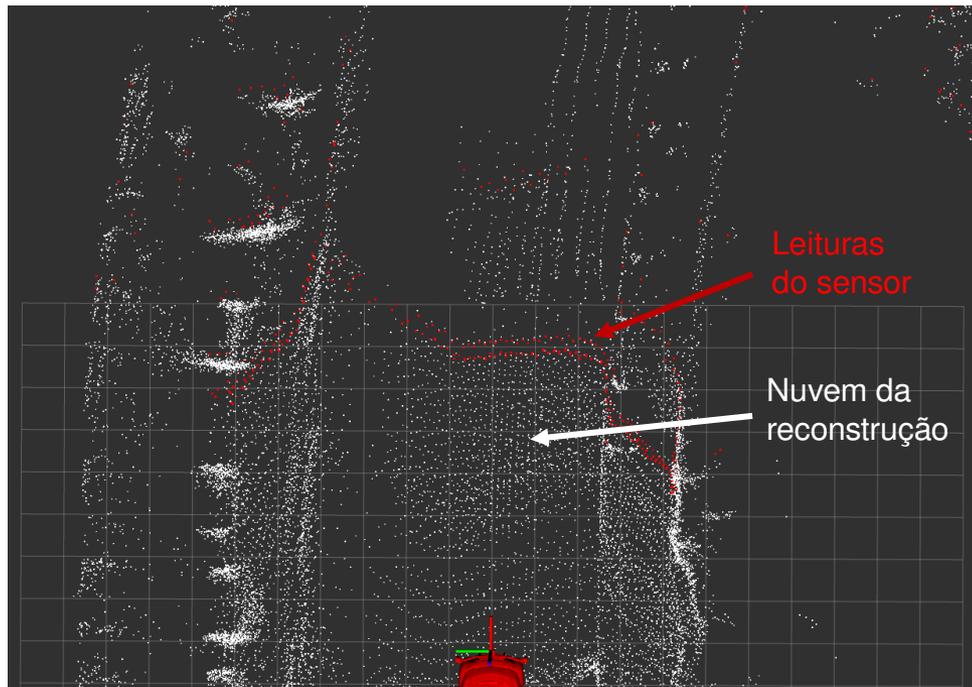


Acumulação de Feixes

laser_scan_assembler



Acumulação de feixes

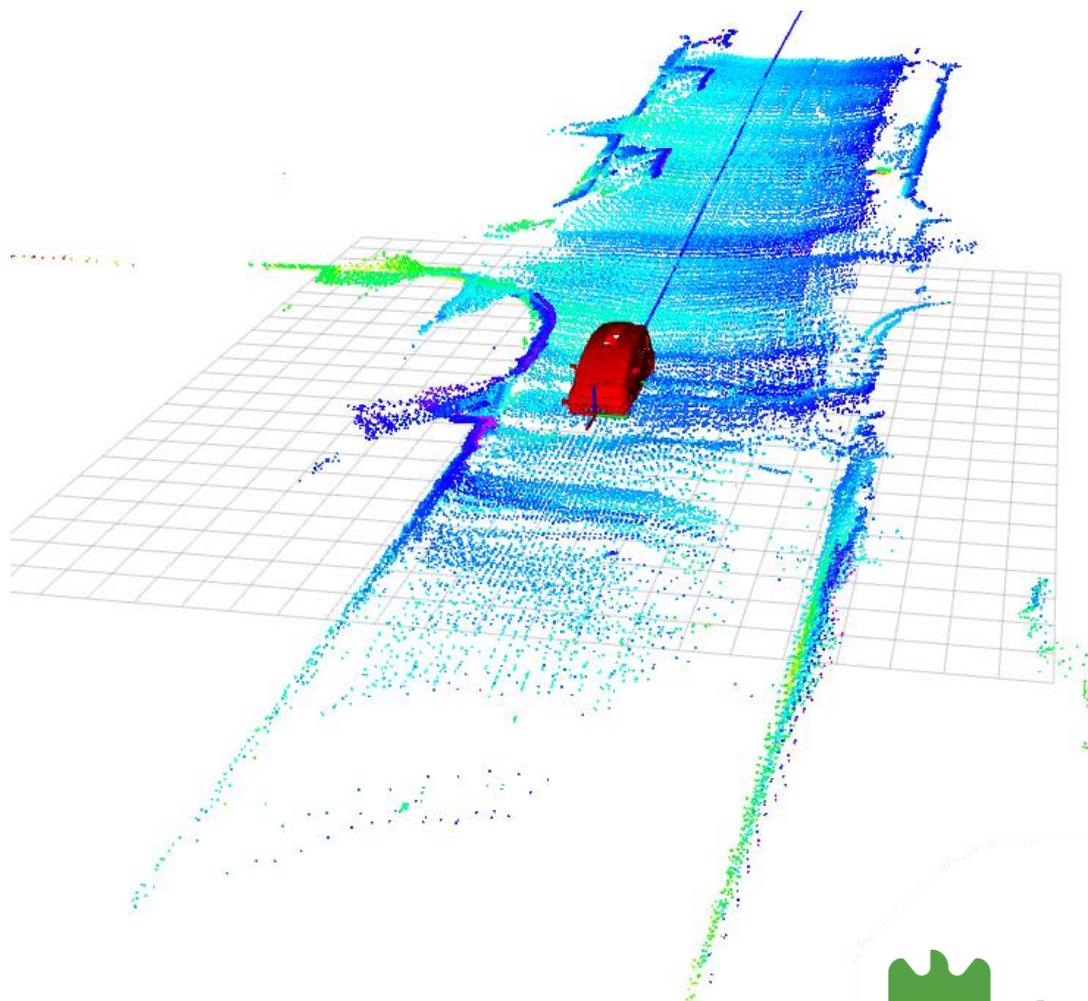


- Utilização do serviço `assemble_scans` para a construção do buffer
- Definição dos referenciais de aquisição e de representação dos dados
- Acumulação e representação virtualmente instantâneas



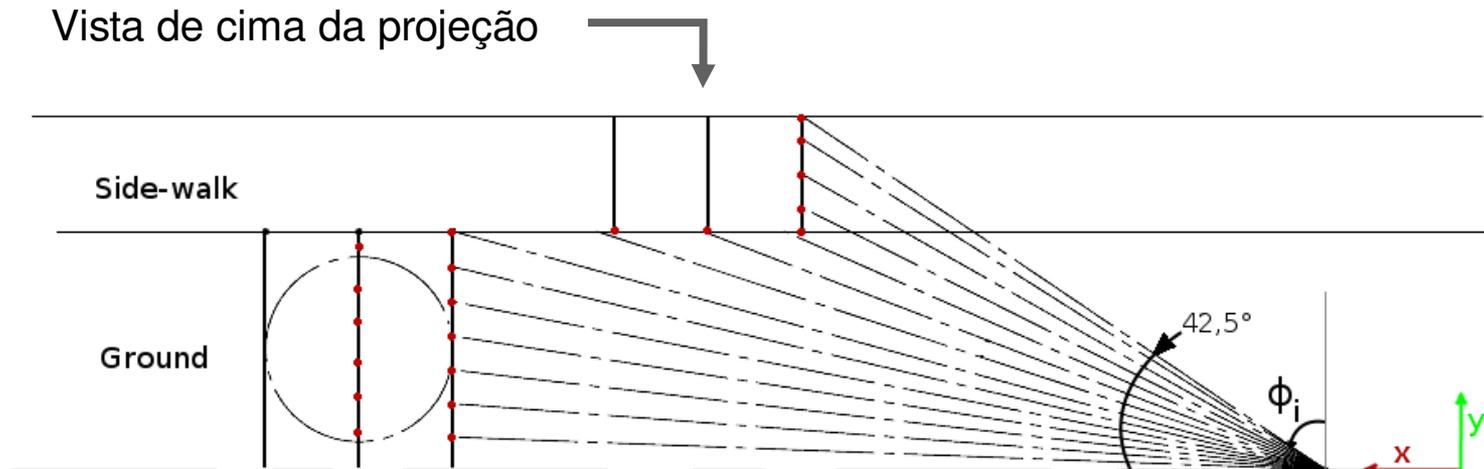
Resultado da Reconstrução

- Boa densidade de informação sobre o perfil da estrada
- Distância de reconstrução até cerca de 20 m em frente ao veículo
- Limites da estrada visualmente identificáveis na reconstrução

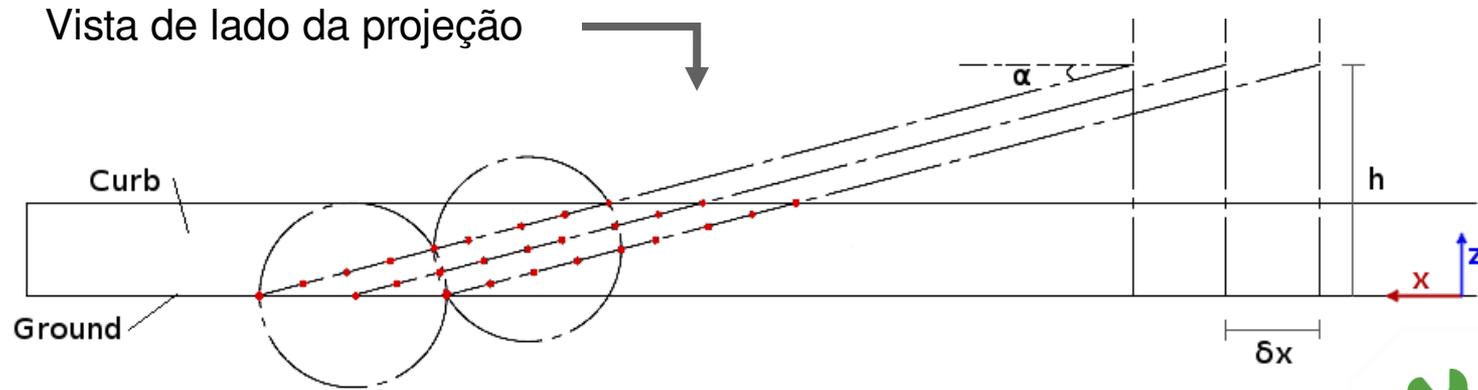


Projeção dos Feixes de Laser numa Secção de Estrada

Vista de cima da projeção



Vista de lado da projeção



Porquê?

- Grande número de variáveis que influenciam o comportamento das projeções do laser e da acumulação
- Necessidade de estudar a influência dos vários parâmetros na *Accumulated Point Cloud Density (APCD)*
- Impraticabilidade de estudar experimentalmente a influência de cada um os parâmetros

Como?

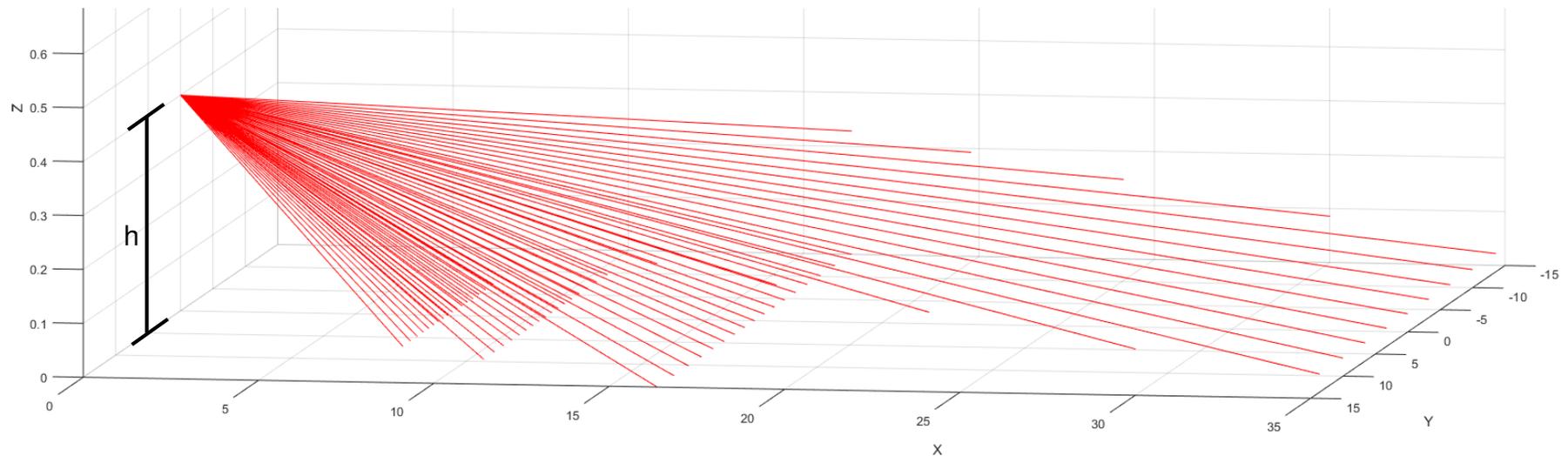
- Construção de um modelo matemático do sensor laser
- Desenvolver mecanismos que permitam avaliar a interseção dos feixes com planos e regiões
- Variar os diversos parâmetros que influenciam o comportamento e quantificar os valores de APCD



Modelo Matemático

- Definição dos feixes laser específicos para este sensor nos 4 planos de leitura

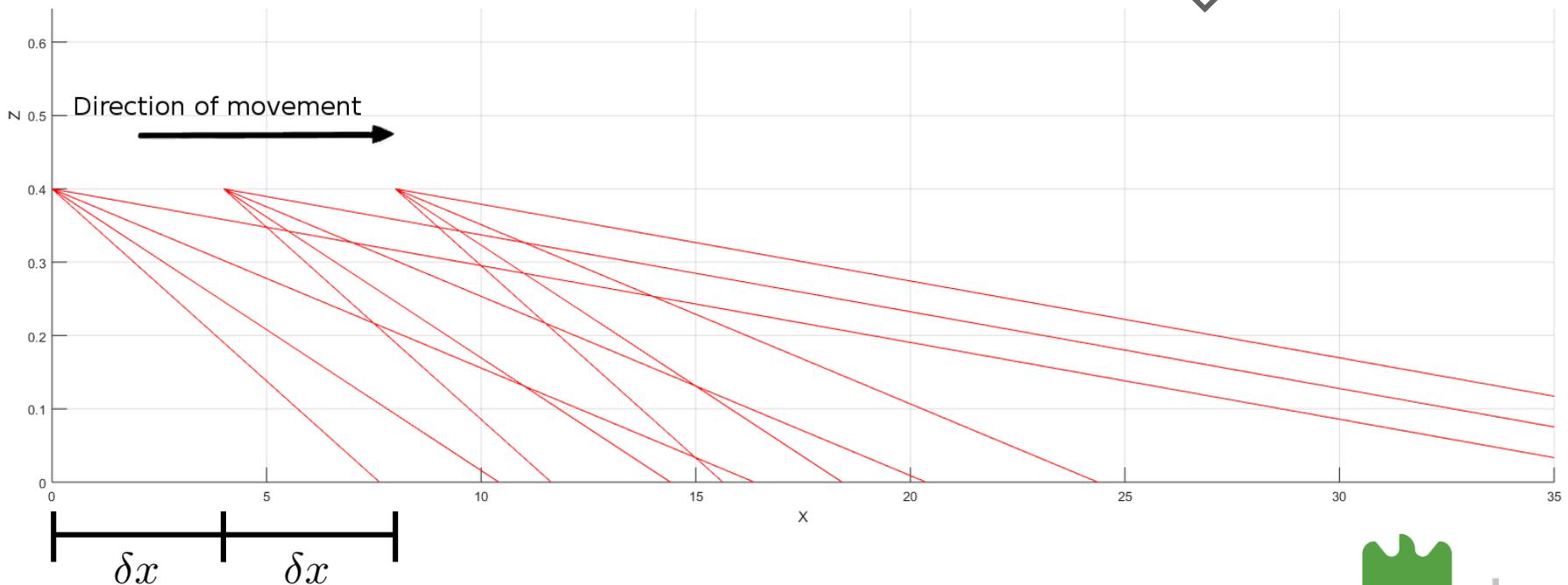
$$\forall X \in \mathbb{R} : \begin{cases} Y = \frac{X - \delta x}{\tan(\phi_i)} \\ Z = h - (x - \delta x) \cdot \tan(\alpha) \end{cases}$$

Simulação do Movimento do Veículo

- Mecanismos para simular o movimento do veículo (em linha reta)
- Baseado na velocidade do veículo e na frequência de leitura do sensor
- Permite a acumulação das leituras consecutivas

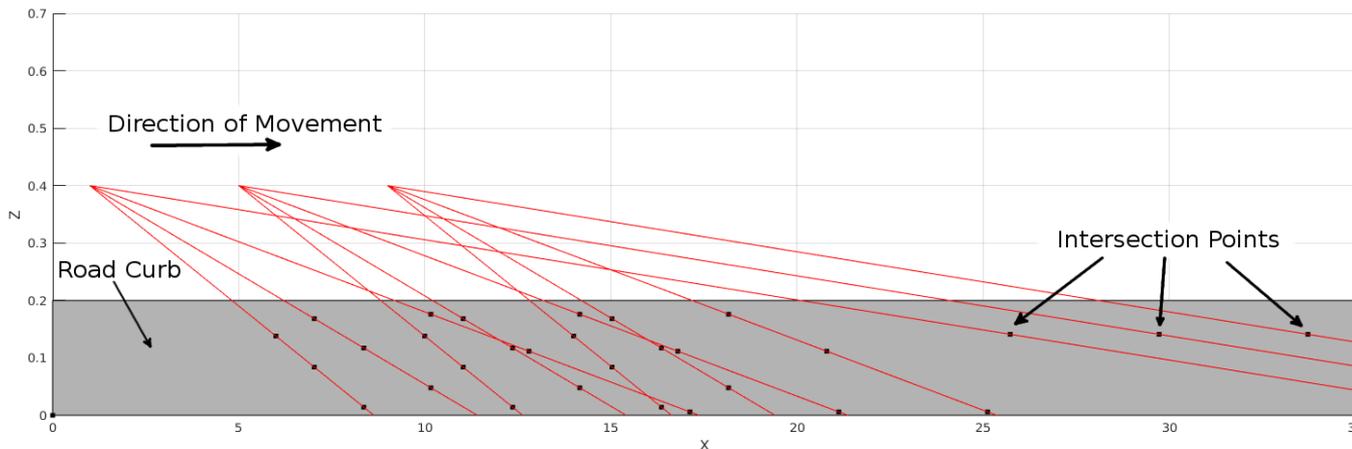
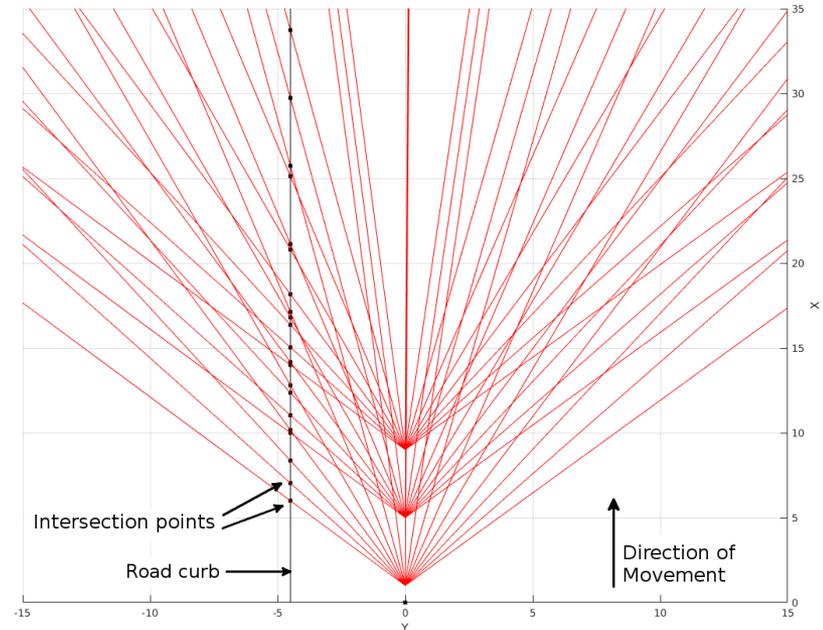
$$\delta x = v_{car} / f_{sensor}$$



Interseção dos Feixes com o Plano

- Definição a interseção dos feixes laser com o plano em estudo, durante o movimento do veículo

$$(X, Y, Z) = \begin{cases} Y = \frac{X - \delta x}{\tan(\phi)} \\ Z = h - (x - \delta x) \cdot \tan(\alpha) \\ (x_p - X) \cdot a + (y_p - Y) \cdot b + (z_p - Z) \cdot c = 0 \end{cases}$$

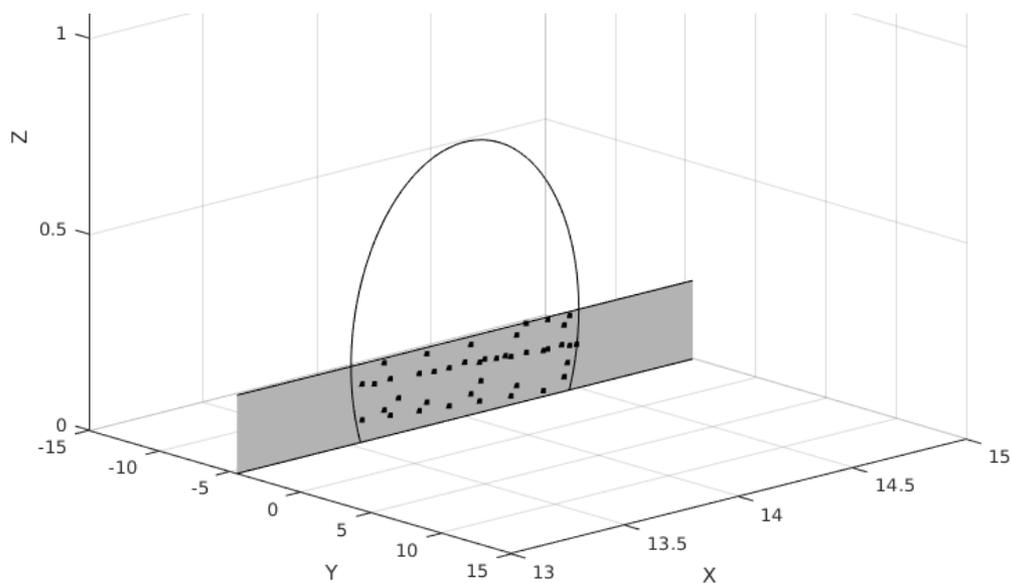
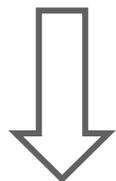


$$Z \leq h_{curb}$$



Cálculo e Quantificação da APCD

$$(X - x_p)^2 + (Y - y_p)^2 + (Z - z_p)^2 \leq r^2$$

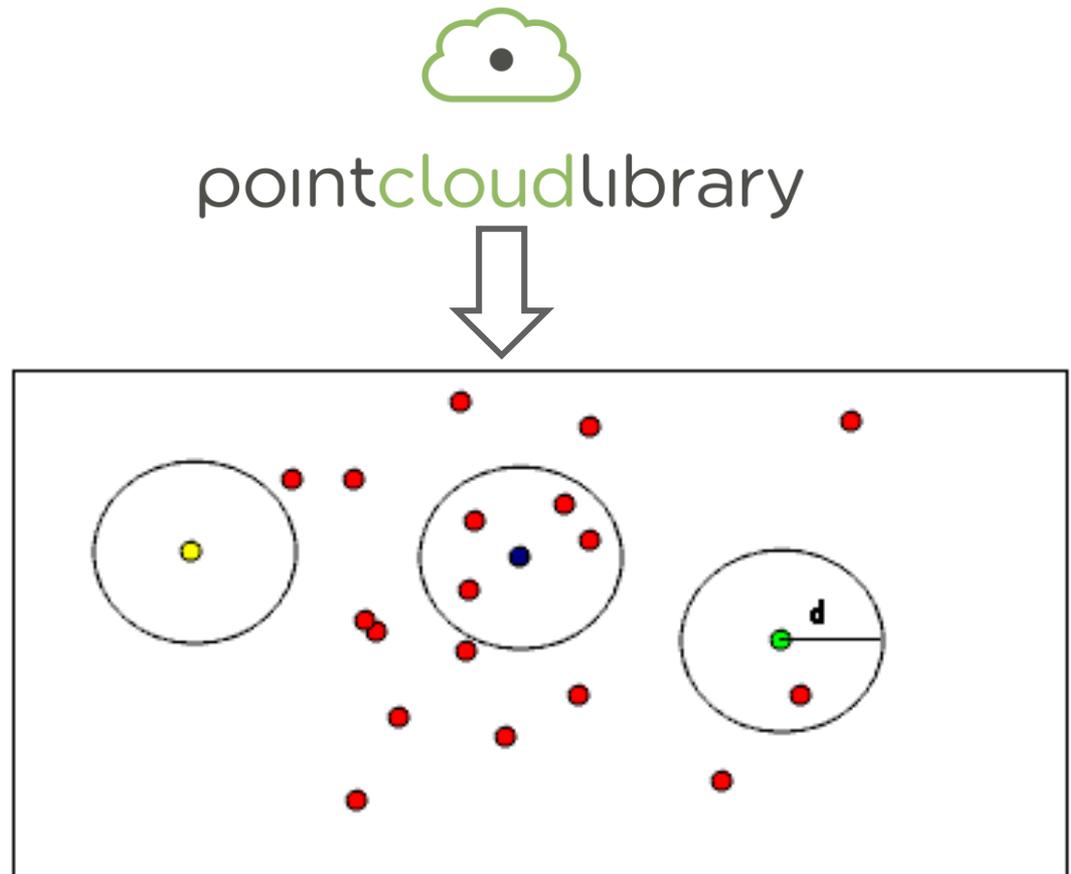


$$APCD = N_{total} / A_{circle}$$



Método para a Filtragem por Densidade

- Filtragem por densidade da nuvem de pontos (*RadiusOutlierRemoval*):
 - Filtro percorre todos os pontos da nuvem
 - Quantifica o número de vizinhos dentro de uma esfera de raio d
 - Se tiver o número mínimo de vizinhos pretendido é mantido, caso contrário é removido



Filtro “*RadiusOutlierRemoval*”

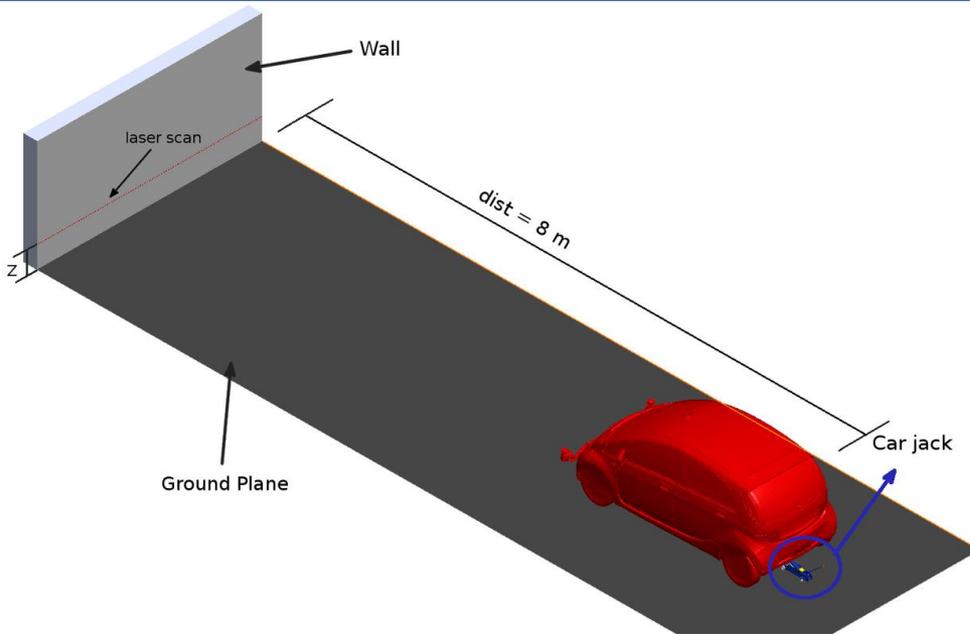


Testes Práticos:

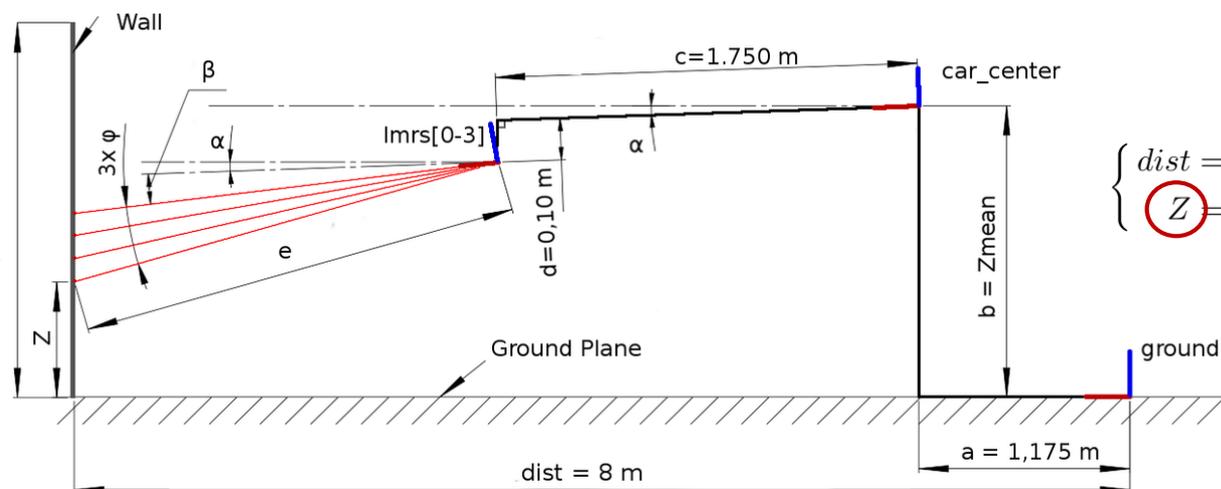
- Validação da estrutura da árvore de referenciais
- Testes da reconstrução da estrada e da influência das componentes de orientação
- Resultados das simulações para várias situações de acumulação
- Testes práticos do algoritmo de extração dos limites da estrada
 - Algoritmo com parâmetros de filtragem estáticos
 - Algoritmos com parâmetros de filtragem dinâmicos



Resultados do Módulo de Orientação



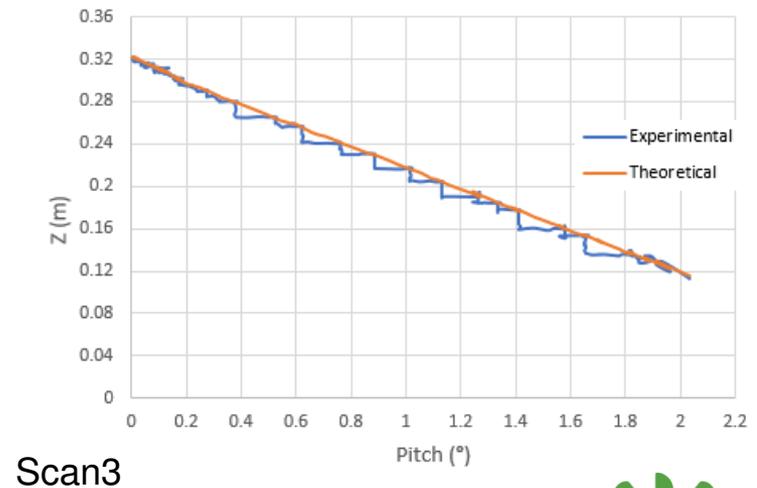
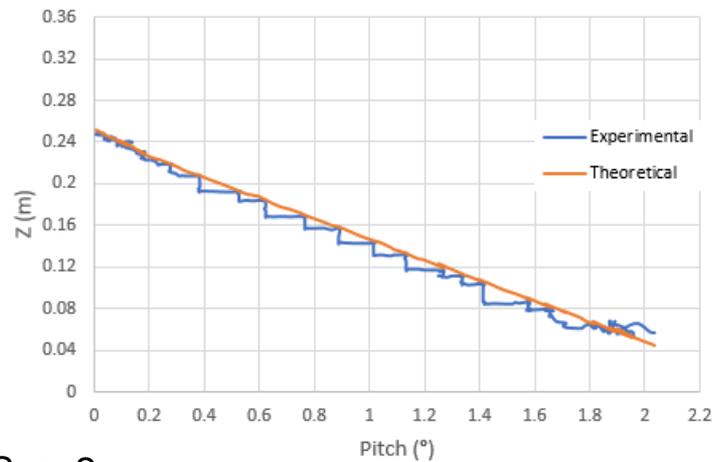
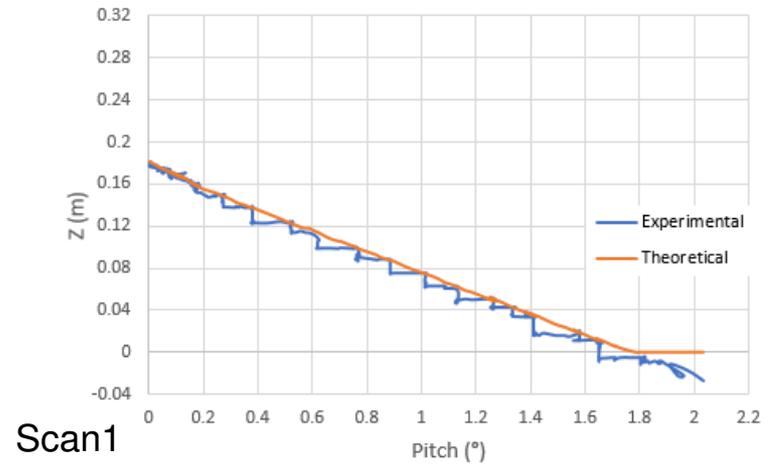
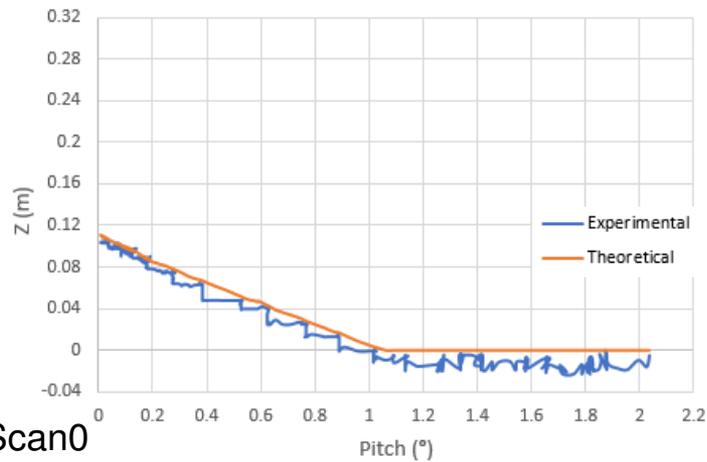
- Validação componente de orientação da árvore de referenciais
- Teste experimental em ambiente controlado
- Comparação com o esquema geométrico teórico



$$\begin{cases} dist = a + \cos(\alpha) \cdot c - \sin(\alpha) \cdot d + \cos(\alpha + \beta + \phi_i) \cdot e_i \\ \textcircled{Z} = b - \sin(\alpha) \cdot c - \cos(\alpha) \cdot d - \sin(\alpha + \beta + \phi_i) \cdot e_i \end{cases}$$

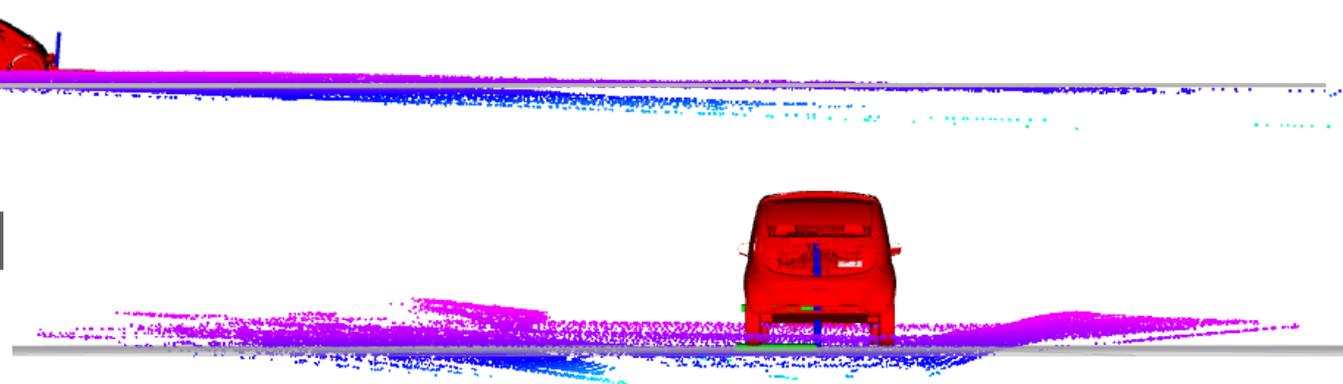
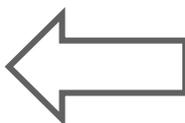


Resultados do Módulo de Orientação

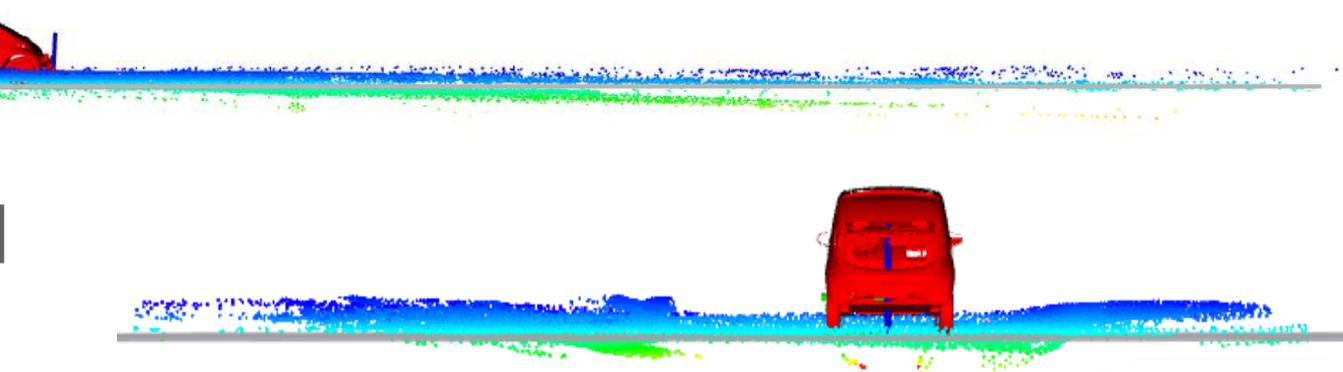
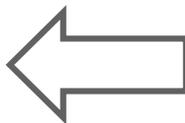


Resultados da Reconstrução da Estrada

Sem uso de inclinometria

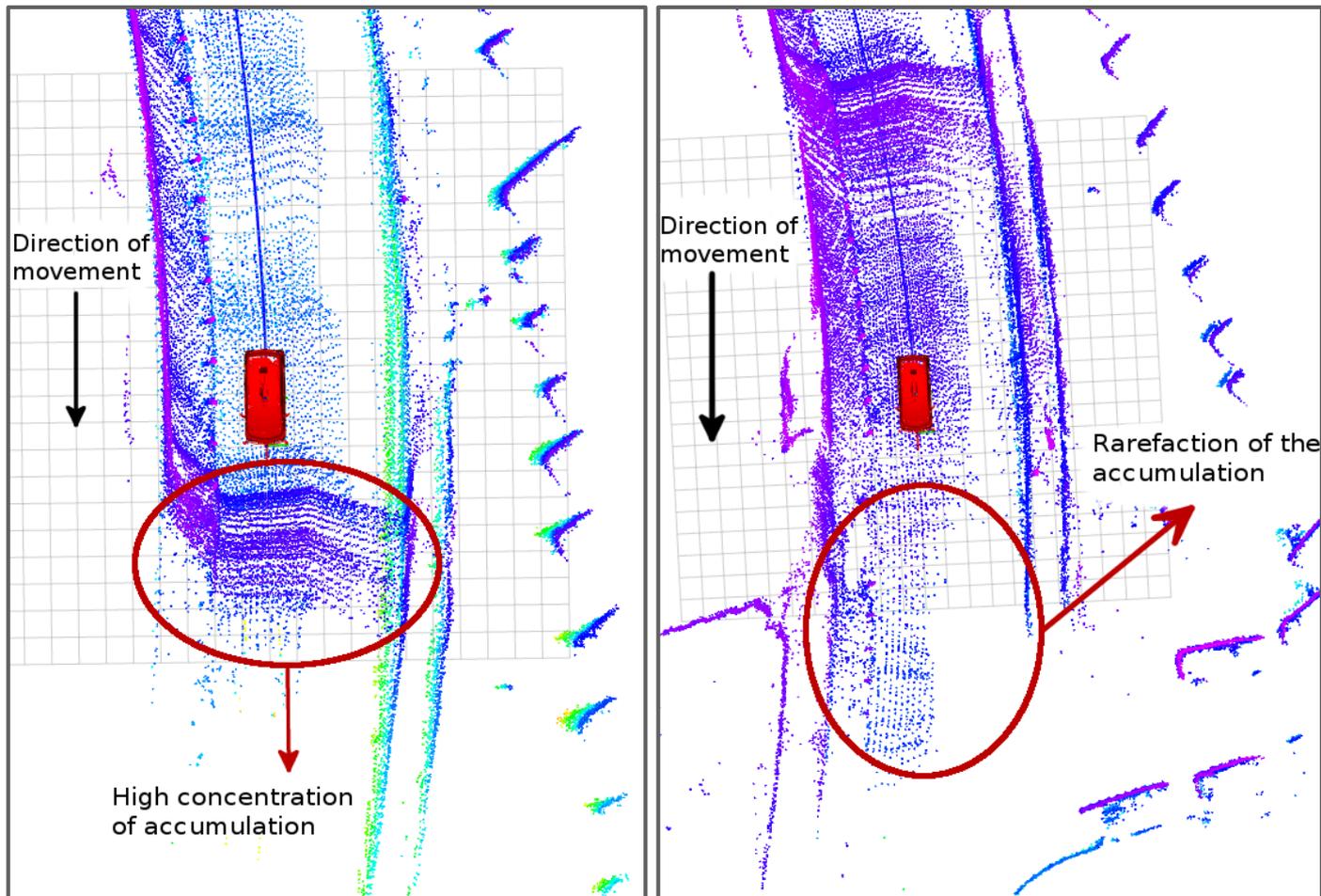


Com uso de inclinometria



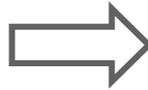
Influência da Orientação na Reconstrução

- Influência de variações bruscas de orientação na densidade local
- Ensaio experimental de travagem e aceleração bruscas
- Travagem gera zonas de elevada densidade
- Aceleração gera zonas de rarefação da densidade

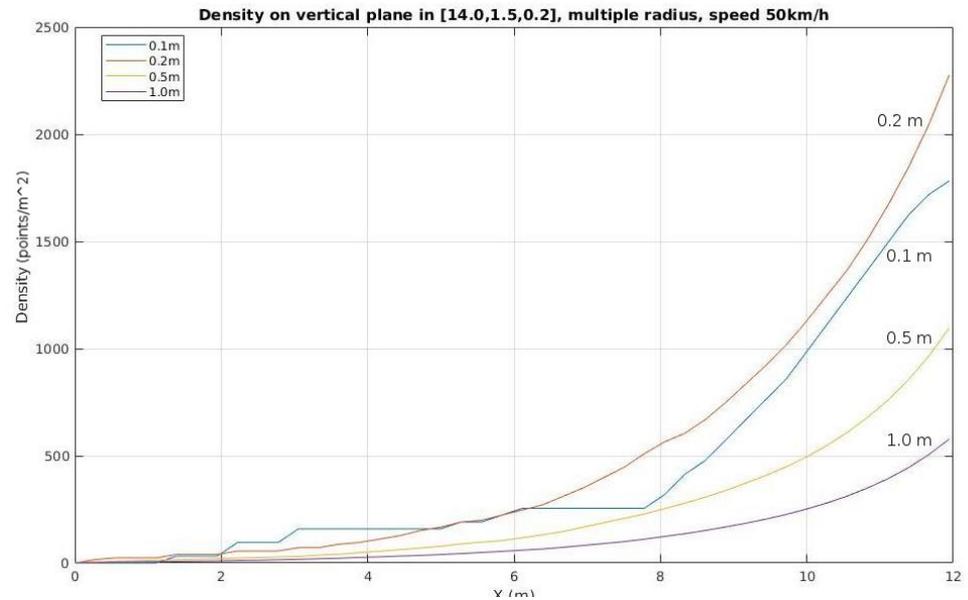


Dimensões do Círculo de Filtragem

Densidade Acumulada no plano vertical do passeio



- Raio de 0.2 m é o que produz no geral maior APCD

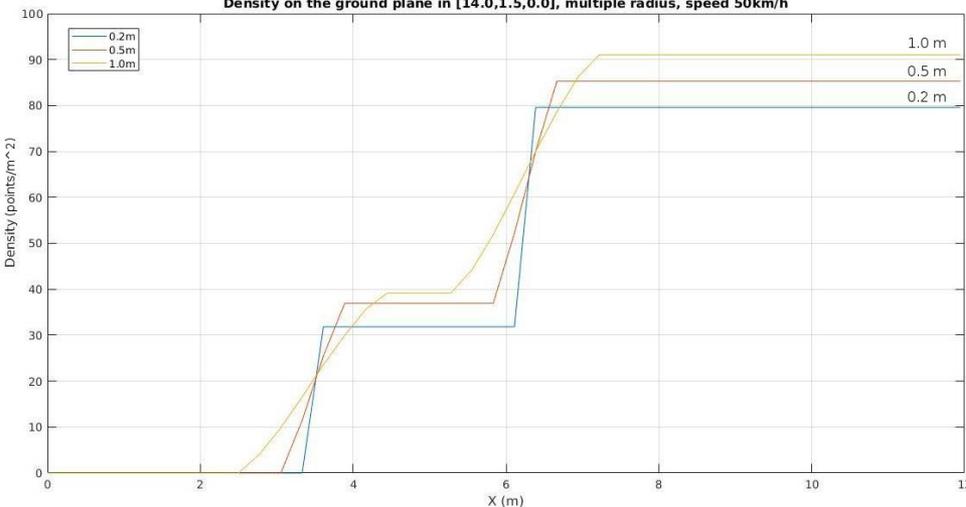


Densidade Acumulada no plano da estrada

- Raio de 0.2 m é o que produz menor APCD

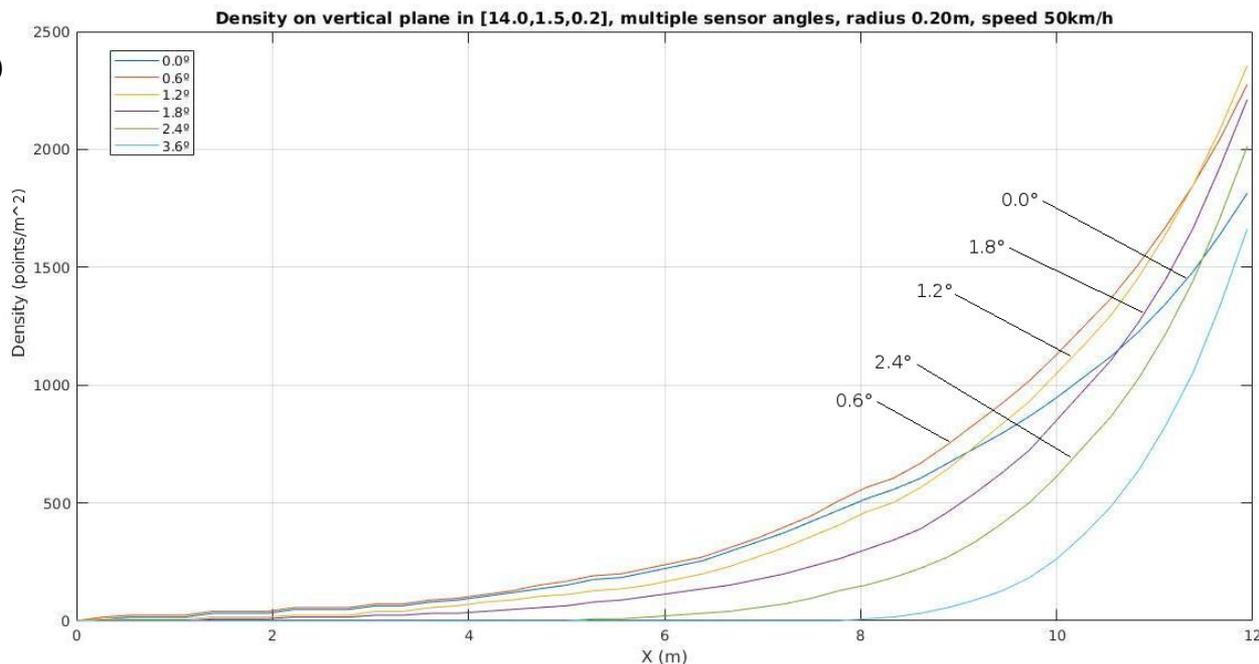


Density on the ground plane in [14.0,1.5,0.0], multiple radius, speed 50km/h



Posicionamento do Sensor LIDAR

- Testes da influência da posição e orientação do sensor na APCD
- Várias combinações de altura e ângulo de incidência
- Combinações de 0.4 m de altura com 0.6° de incidência e 0.5 m com 1.2° de incidência produzem maiores níveis de APCD
- Melhor solução será a de 0.6° de incidência porque permite maior alcance das medições

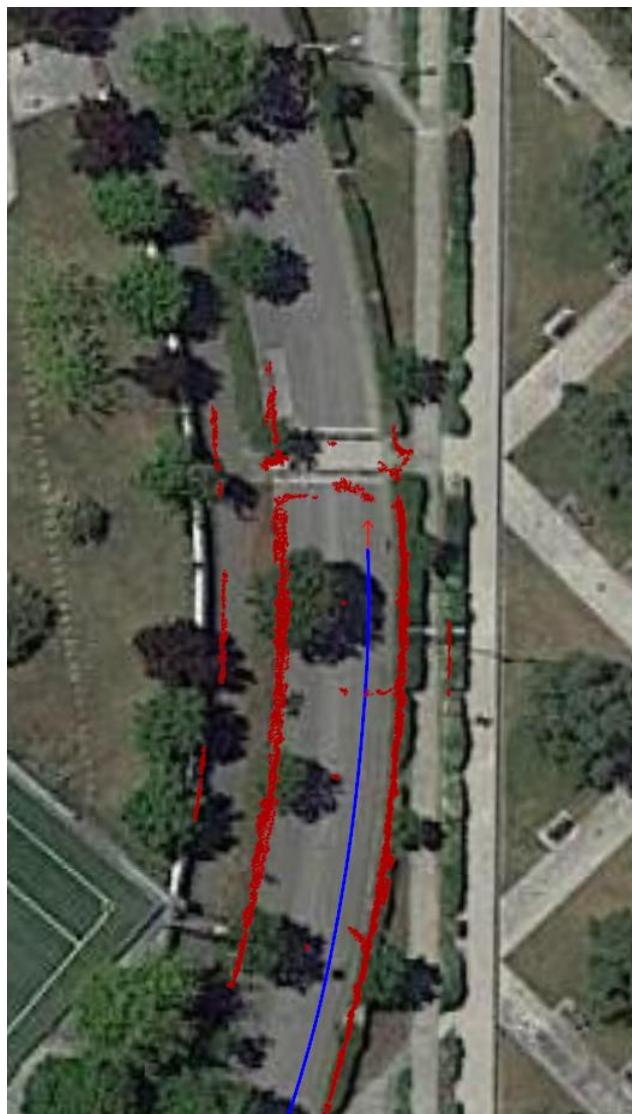


Angle \ Height	0°	0.6°	1.2°	1.8°
0.3 m	533.17	437.68	270.56	111.41
0.4 m	517.25	565.00	461.55	302.39
0.5 m	421.76	533.17	565.00	461.55
0.6 m	278.52	389.93	485.42	525.21



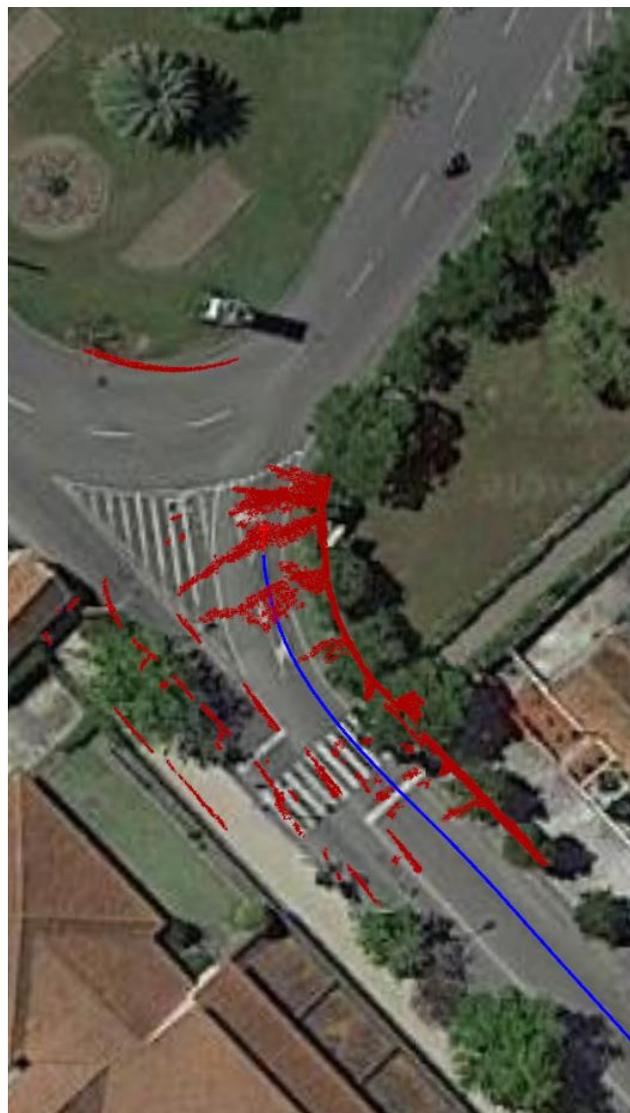
Deteção de Limites da Estrada – Método Estático

- Aplicação do método de filtragem por densidade no caso prático
- Utilização do filtro *RadiusOutlierRemoval*
- Parâmetros do filtro: raio de 0.2 m e 15 pontos para número de vizinhos
- Deteção dos limites da estrada coincidentes com as imagens de satélite
- Deteção de obstáculos



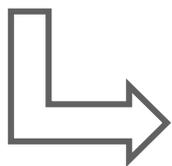
Método Estático - Limitações

- Clusters de pontos gerados por variações rápidas na orientação
- Grande acumulação para velocidades do veículo muito inferiores à velocidade projetada
- Com veículo parado não há deteção dos limites
- Zona de deteção da área navegável muito próxima do veículo (cerca de 10m)



Método Dinâmicos – Raio Constante e Variável

Raio Constante

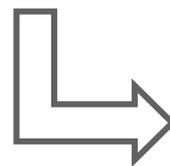


$$R = 0.2$$

$$N_{total} = 1513/v_{car} \cdot \pi * 0.2^2$$

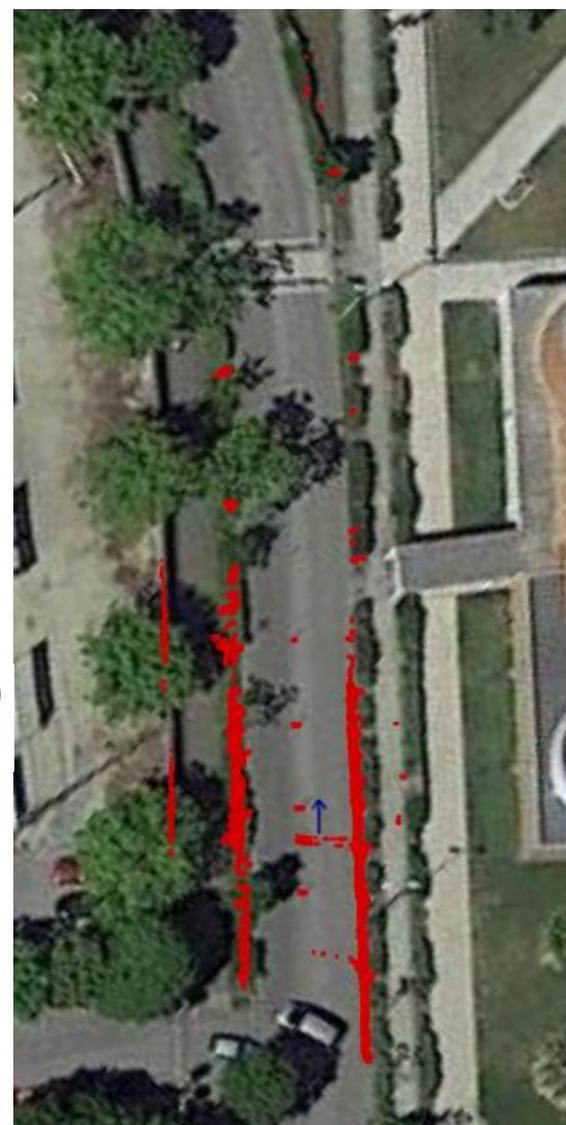


Raio Variável



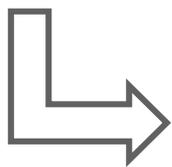
$$R = v_{car}/50 + v_{car}/350$$

$$N_{total} = \lceil 87.5 * R \rceil$$



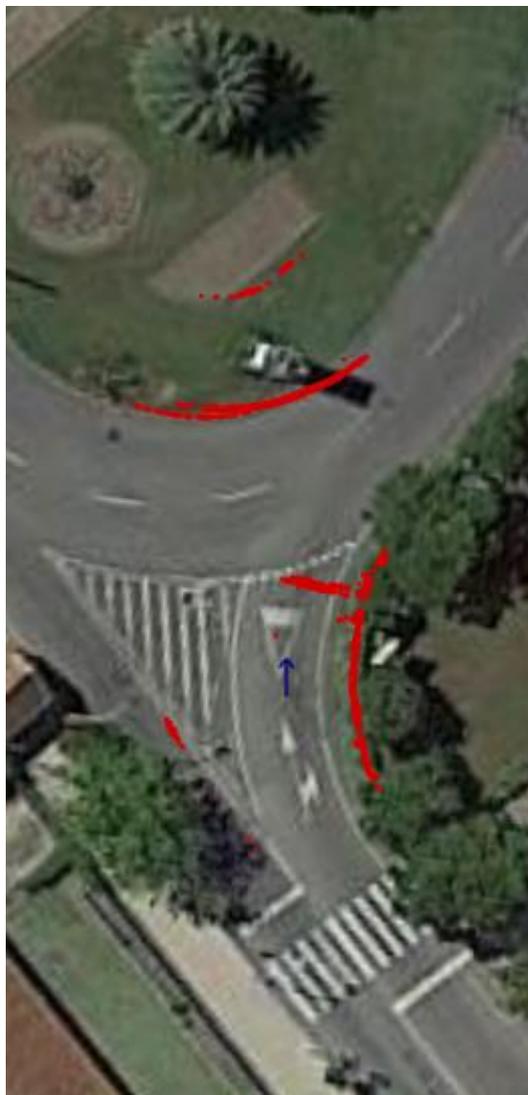
Método Dinâmicos – Raio Constante e Variável

Raio Constante

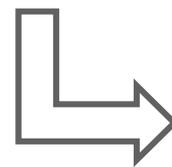


$$R = 0.2$$

$$N_{total} = 1513/v_{car} \cdot \pi * 0.2^2$$



Raio Variável

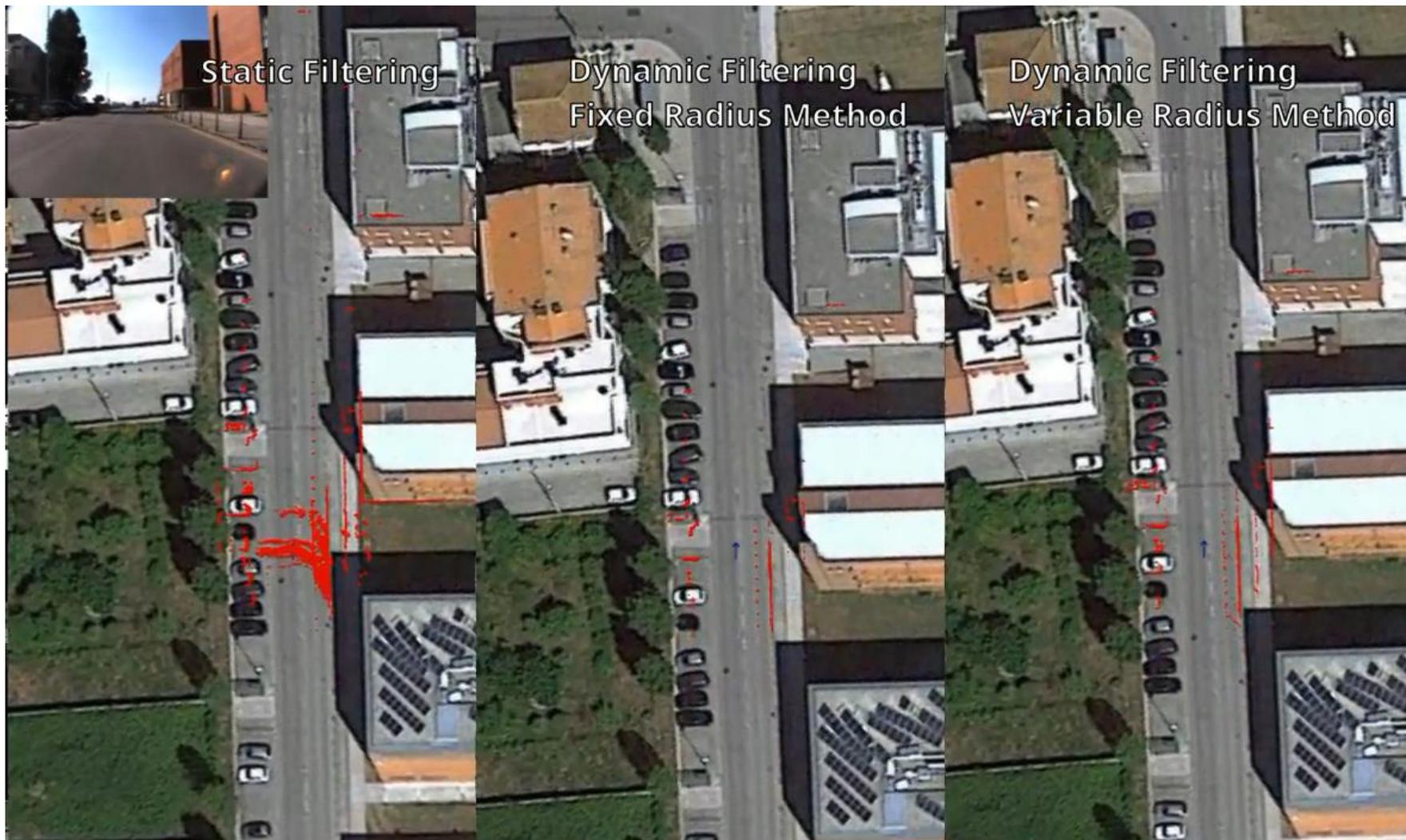


$$R = v_{car}/50 + v_{car}/350$$

$$N_{total} = \lceil 87.5 * R \rceil$$



Comparação entre os Métodos



Conclusões

- Informações dos módulos de posição e orientação corretamente incorporados nos referenciais do veículo
- Reconstrução local de estrada implementada com sucesso, com bons resultados na representação de várias topologias
- Navegabilidade da estrada foi detetada, com bons resultados para uma vasta gama de velocidades
- Proposta de submissão de um artigo com a metodologia e os resultados obtidos neste trabalho



Trabalhos Futuros

- Refinar o algoritmo de filtragem dinâmico, para incorporar correções às variações de densidade local associadas à alterações bruscas de orientação
- Aumentar a eficiência do método de filtragem para que se tenha informação dos obstáculos mais cedo
- Estudar situações de limites negativos
- Necessidade da criação de um *ground-truth* para a avaliação da exatidão do método





Obrigado

Deteção da Navegabilidade da Estrada para o ATLASCAR2 usando
LIDAR e Inclínometria

Tiago Simões Marques