

Navegação de Veículos Autônomos em Ambientes Externos Não Estruturados Baseada em Visão Computacional

Rafael Luiz Klaser

Orientador: Prof. Dr. Fernando Santos Osório

Laboratório de Robótica Móvel



Abril 2013

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- 1 **Introdução**
 - Motivação
 - Objetivo
 - Contribuições esperadas
 - Conceitos abordados
- 2 **Materiais e Métodos**
- 3 **Proposta de Pesquisa**
 - Tema
 - Discussão
- 4 **Resultados Parciais**
- 5 **Cronograma**

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Aplicações

Os veículos autônomos tem recebido destaque em diversas aplicações onde a presença de pessoas as coloca em situação de risco, desconforto, fadiga ou requerem algum tipo de precisão onde a máquina está mais apta a executar determinada tarefa.

Um exemplo de aplicação para veículos terrestres em ambiente não estruturado é no auxílio ao combates a incêndios florestal.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

05/04/2013 - Notícia ClicRBS: **Levantamento indica que cerca de 5.000 hectares foram queimados no incêndio do Taim** O incêndio no Taim começou no dia 26 de março e demorou 9 dias para ser controlado



Foto: Lauro Alves / Agência RBS

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Os veículos autônomos tem tido destaque na comunidade científica pelos seus desafios e potencial de aplicação junto à sociedade – atualmente os estudos relacionados a esta área tem aumentado significativamente;
- A Visão Computacional é uma área com diversos problemas em aberto (O próprio funcionamento da visão biológica é ainda pouco conhecido);
- Este projeto de pesquisa tem por base o trabalho “Robôs-Bombeiros” de Gustavo Pessin (Evolução de estratégias e controle inteligente em sistemas multi-robóticos robustos. Dissertação de Mestrado. 2008).

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

ELROB – European Robot Trial

- Exibição onde são demonstradas e comparadas as capacidade dos sistemas de veículos autônomos (no cenário “off-road”);
- Ocorre a anualmente, intercalando entre objetivo militar e civil a cada ano. (a próxima exibição civil ocorrerá em 9/2013 – Alemanha);
- Projetos europeus



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Definição do problema

Dada uma origem do veículo e um destino (referenciados por GPS) em um terreno não estruturado com vegetação, navegar de forma autônoma desviando dos obstáculos e conduzindo o veículo até o destino.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Objetivo

Desenvolver um método de navegação autônoma, reativo/deliberativo, focado em ambientes externos não estruturados, com base em um mapa de navegabilidade com informação espacial (tridimensional) construído a partir de visão estéreo.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Aperfeiçoamento de algoritmos de geração de mapas de disparidade e nuvem de pontos;
- Proposta e desenvolvimento de algoritmo para a obtenção de mapas locais de navegabilidade com informações espaciais (3D);
- Aperfeiçoamento de técnicas para a navegação baseada no uso de GPS, bússola e mapas locais de navegabilidade (onde as pesquisas previamente desenvolvidas para detectar e desviar de obstáculos com o uso de mapas 2D serão estendidas a fim de trabalhar com mapa de navegabilidade/ocupação em 3D).

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Visão estéreo / Calibragem;
- Mapas de disparidade;
- Nuvens de pontos;
- Representação espacial;
- Mapa de navegabilidade.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Extrair e processar informações a partir de imagens:
 - Grande quantidade de métodos e algoritmos;
 - É comum encontrar diversas restrições (luminosidade, sombras, resolução).
- O elevado custo computacional de alguns métodos os tornam inviáveis quando há a necessidade de execução em tempo real – caso da robótica;
- Porém, com o aumento da capacidade dos computadores atuais, o número de trabalhos em visão estéreo cresceu significativamente (GPU).

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- A calibração é um passo importante quando se lida com câmeras (em visão estéreo é essencial)
 - É necessário retificar as distorções provocadas pelas lentes;
 - Os parâmetros do modelo de projeção (perspectiva) são essenciais para a reconstrução tridimensional;
 - Uma boa calibração pode definir o “sucesso” do método.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

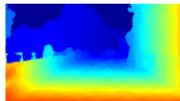
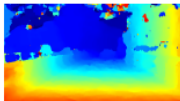
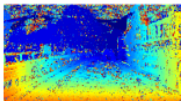
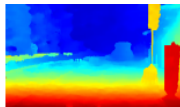
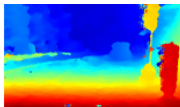
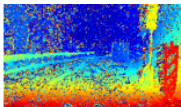
Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- O mapa de disparidade pode ser construído a partir de duas poses deslocadas da mesma cena, com a triangulação de cada ponto com a sua projeção em cada imagem é possível estimar a profundidade relativa dos pontos;
- O grande problema é determinar qual ponto em uma imagem corresponde ao mesmo ponto na outra imagem.
- Existem diversas abordagens para tratar esse problema. O *Block Matching* é muito utilizado por ser rápido porém é sensível a uma boa parametrização (ex. tamanho do bloco de busca).



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

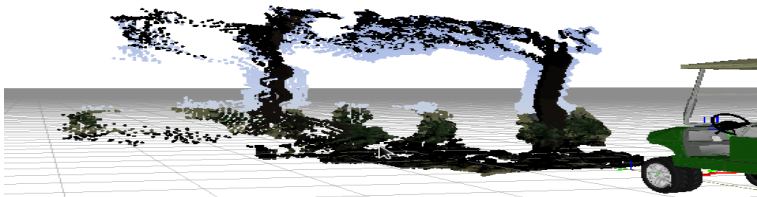
Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Localização tridimensional (métrica) dos pontos da imagem obtido a partir do mapa de disparidade;
- O cálculo das coordenadas é feito utilizando os parametros de calibração (distância focal, distância entre as câmeras)
- Geralmente se ignora os pontos a uma determinada distância pois o erro de posição cresce com disparidades baixas;
- A partir de imagens são geradas nuvens densas.



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

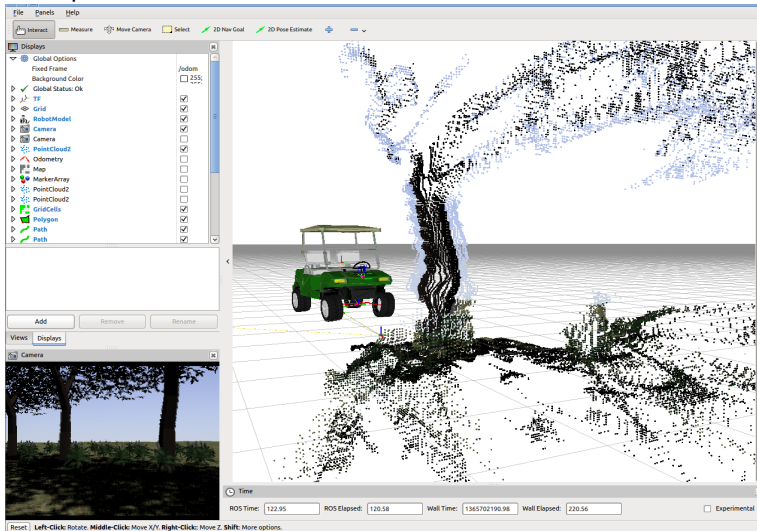
Tema

Discussão

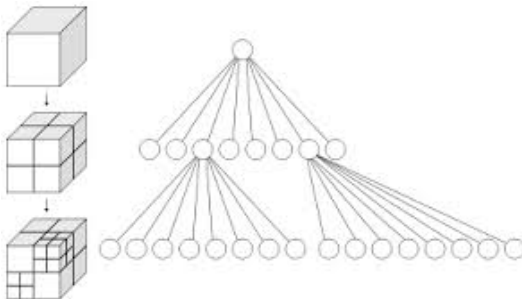
Resultados
Parciais

Cronograma

Exemplo



- Uma forma de representar a informação tridimensional de forma estruturada é utilizando o conceito de *octree*.
- A *octree* é uma árvore que representa o espaço discretizado em subdivisões cúbicas;
- Desta forma é possível percorrer os dados espaciais de forma estruturada;



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e

Métodos

Proposta de

Pesquisa

Tema

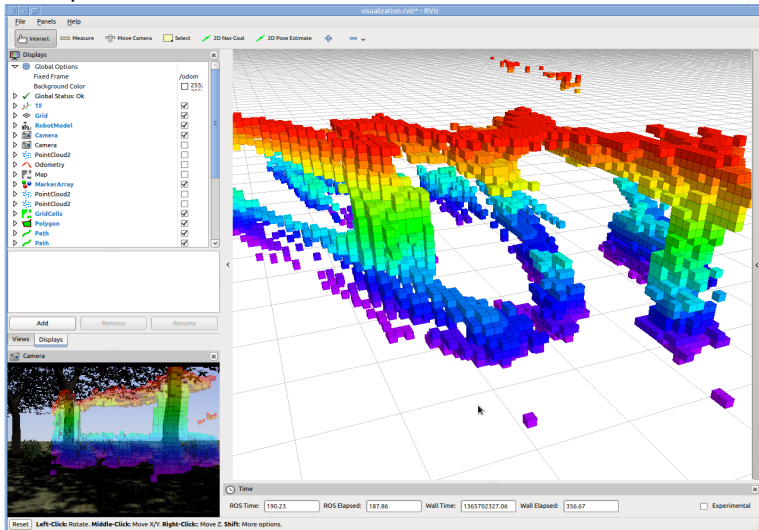
Discussão

Resultados

Parciais

Cronograma

Exemplo



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Representação do terreno navegável, obstruído e desconhecido;
- Também é uma representação discretizada do espaço de navegação;
- O planejamento de trajetória é efetuado sobre esse mapa;
- Um mapa global com informações conhecidas do ambiente pode ser fornecido previamente;
- Um mapa local é contruído a medida que se explora o ambiente e pode ser utilizado para atualizar o mapa global.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

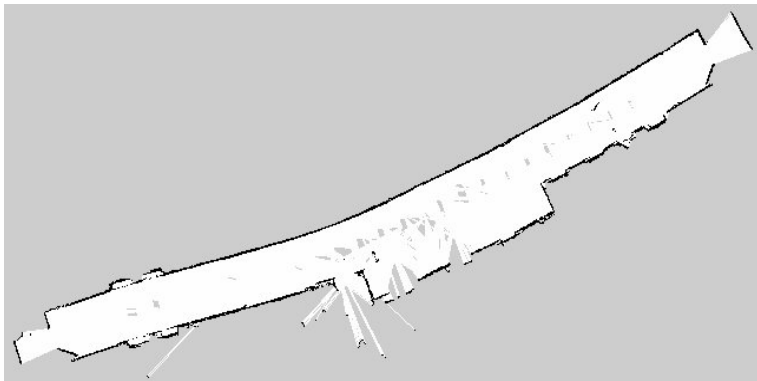
Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Exemplo

- Branco: região livre/navegável;
- Preto: região com obstáculo;
- Cinza: região desconhecida.



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- Plataforma CaRINA I (veículo)
- GPS + IMU (localização e odometria)
- Câmeras de vídeo (binocular, trinocular, etc. . .)

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

CaRINA (Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma)



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

**Materiais e
Métodos**

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

- ROS (Robotic Operating System)
 - Escolhida por ser amplamente utilizada por grupos de pesquisa em robótica;
 - Plataforma Open-Source
 - Ferramenta adotada no LRM
- Gazebo - Simulação física (corpos rígidos)
 - Escolhido por ser um simulador 3D;
 - Integrado ao ROS

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

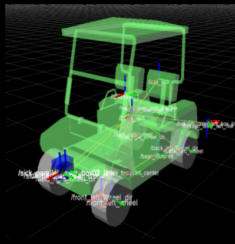
Cronograma

PERCEPÇÃO / ATUAÇÃO

AMBIENTE REAL



AMBIENTE SIMULADO



ROS

CONTROLE

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

**Materiais e
Métodos**

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Vantagens

- Maior repetibilidade dos experimentos
- Replicação dos experimentos (e sem necessidade do equipamento físico)
- Versatilidade

Desvantagens

- A modelagem dos cenários é custosa (tempo)
- Não reflete fielmente a realidade

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

**Materiais e
Métodos**

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Exemplo



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Visão estéreo

Obter a informação espacial do ambiente

Mapa de navegabilidade

Para uma navegação deliberativa é necessário o planejamento da trajetória, para isso é necessário um mapa (local / global)

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Apesar de uma das vantagens das câmeras de vídeo ser a geração de nuvens de pontos densas, uma abordagem que produza nuvens menos densas por quadro pode ser aplicada, tendo a densidade compensada no tempo (aumentando o desempenho geral sem grande perda da informação global);

A informação global requer maior precisão apenas na trajetória a ser seguida, podendo ser aplicado conceito de *foco de atenção*;

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

A proposta é buscar a geração de nuvens de pontos com a densidade nas regiões de maior interesse na imagem.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Um veículo terrestre se desloca na sua superfície de suporte (plano do chão), em condições controladas é possível limitar-se à uma superfície planar.

Para ambientes externos não estruturados existe maior necessidade da noção espacial do ambiente principalmente pela irregularidade do terreno, logo, a abordagem por mapas que contenham essa noção é justificada.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Será utilizado o conceito de ocupação com probabilidade associada pois permite melhor atualização dos mapas.

Uma vegetação não é necessariamente um obstáculo bloqueante, podendo ser transponível (ex grama, capim);

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

A proposta é buscar uma representação em mapa suficiente para descrever o espaço de navegação do veículo.

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

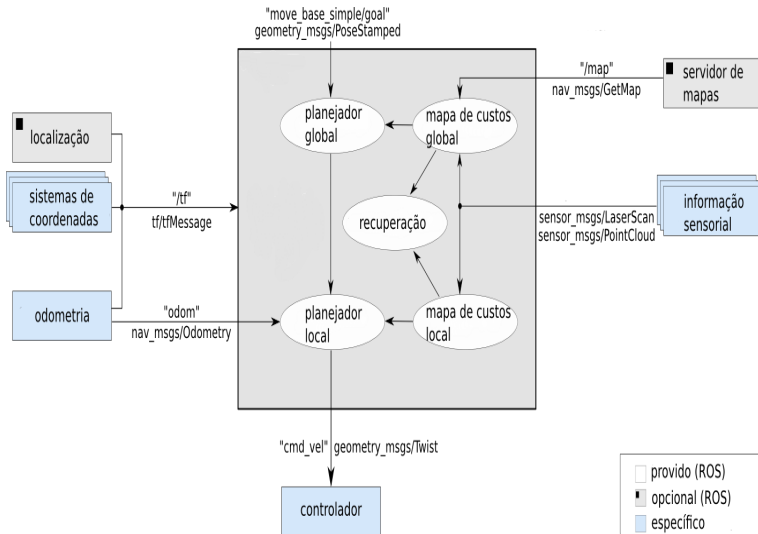
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

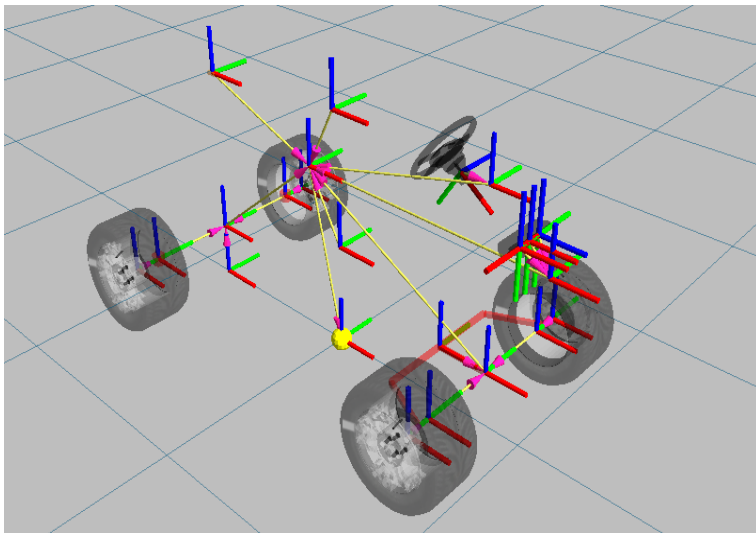
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

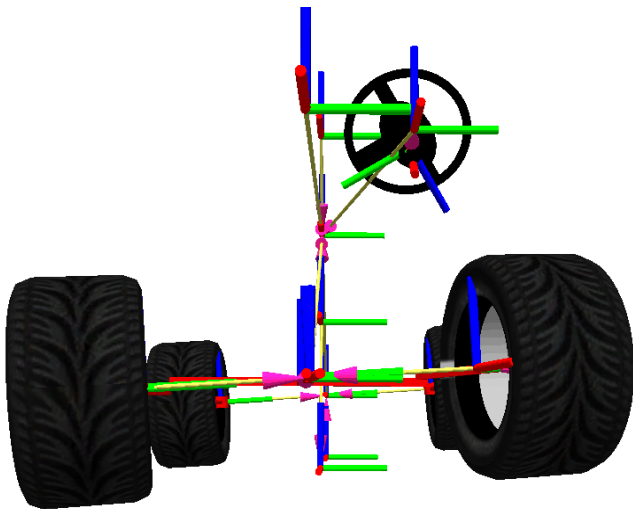
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

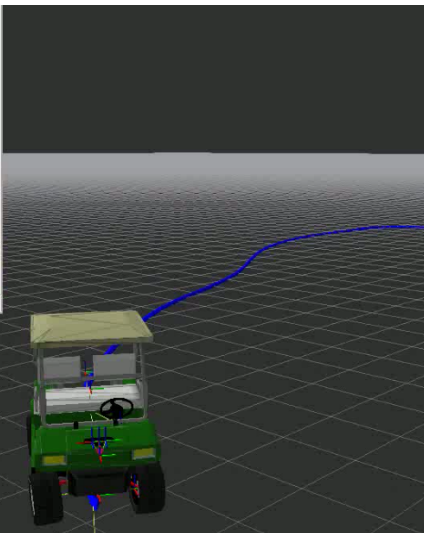
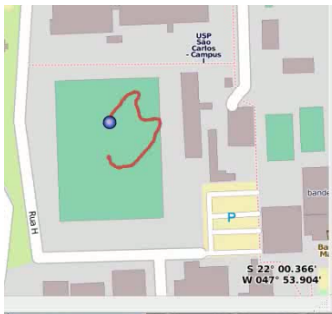
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

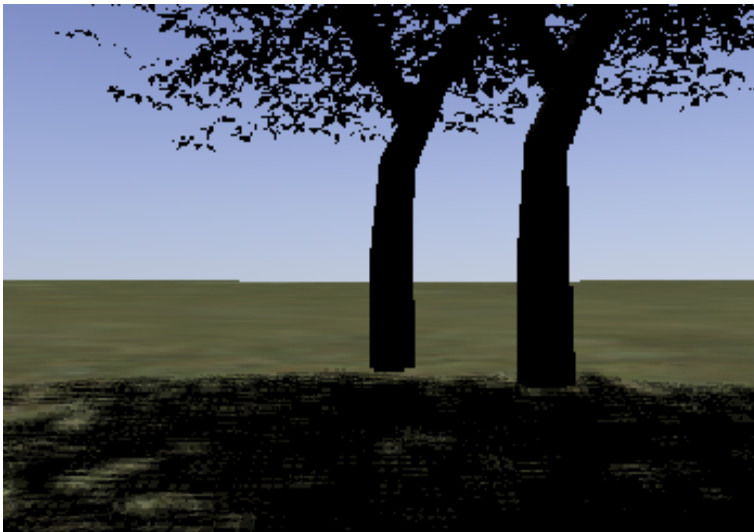
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

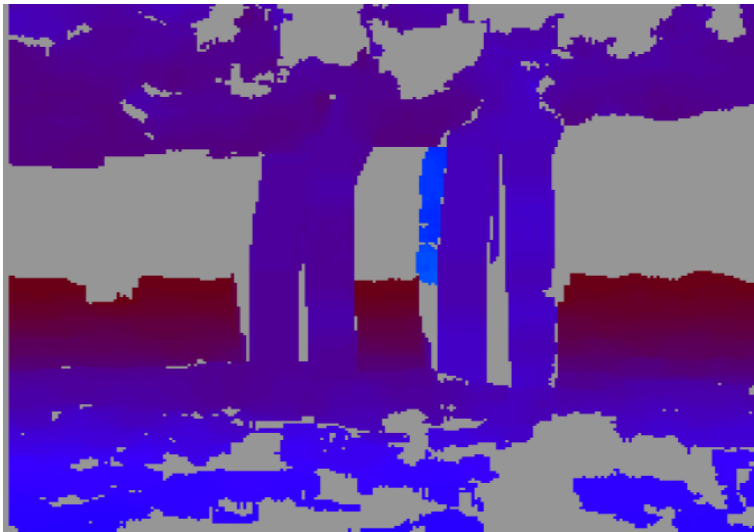
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

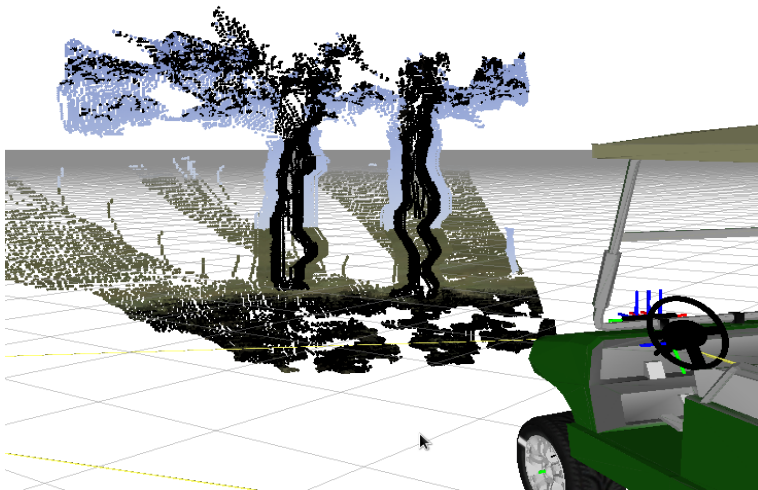
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

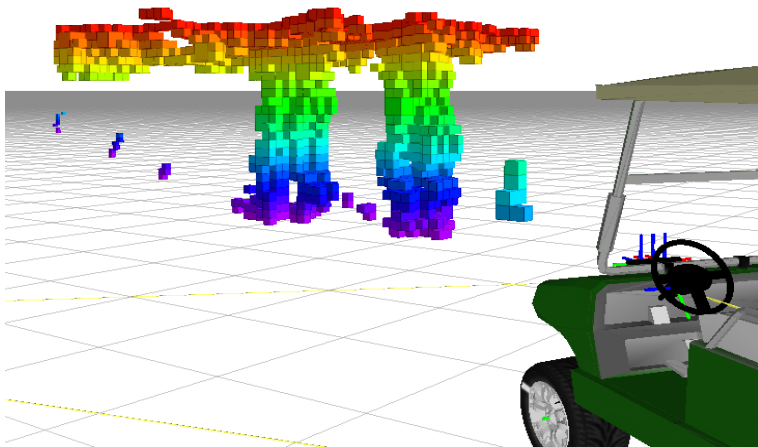
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

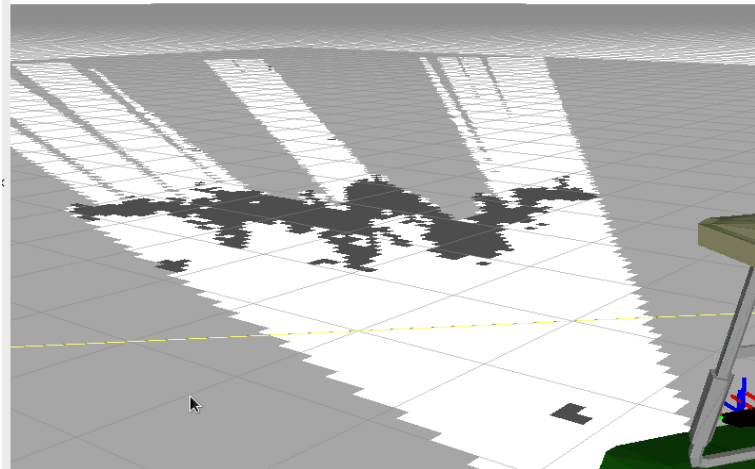
Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma



Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

Dez/2012 : SoCo - Soft Computing

Applying Swarm Intelligence to a Garbage an Recycling Collection Problem.

Patrícia A. Vargas; Gustavo Pessin; Daniel O. Sales; Maurício A. Dias; Rafael L. Klaser; Fernando S. Osório

Jan/2013 : JSA - Journal of System Architecture

CaRINA Intelligent Robotic Car: Architectural Design and Implementations.

Leandro C. Fernandes; Jeferson R. Souza; Gustavo Pessin; Patrick Y. Shinzato; Daniel Sales; Caio Mendes; Marcos Prado; Rafael L. Klaser; André Chaves Magalhães; Daniel Pigatto; Kalinka Castelo Branco; Valdir Grassi Jr.; Fernando S. Osório; Denis F. Wolf,

Projeto de Mestrado

Rafael Luiz Klaser

Introdução

Motivação
Objetivo
Contribuições
Conceitos

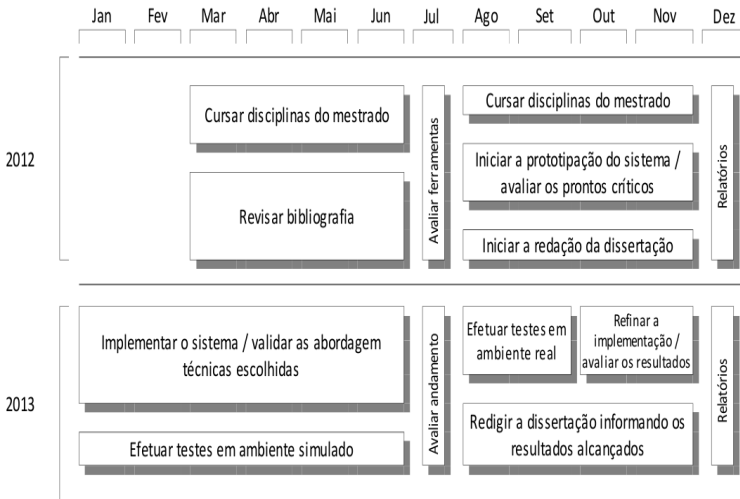
Materiais e Métodos

Proposta de Pesquisa

Tema
Discussão

Resultados Parciais

Cronograma





Perguntas?

Projeto de
Mestrado

Rafael Luiz
Klaser

Introdução

Motivação

Objetivo

Contribuições

Conceitos

Materiais e
Métodos

Proposta de
Pesquisa

Tema

Discussão

Resultados
Parciais

Cronograma

