

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA ROBÔS MÓVEIS BASEADO EM SLAM USANDO SENSORES DE BAIXO CUSTO

PEDRO HENRIQUE PAIOLA RA 161020305

ORIENTADOR: PROF. DR. HUMBERTO FERASOLI FILHO

Introdução

- Navegação de robôs móveis.
- Obstáculos.
- Características do ambiente.
- Abordagens.
- Sistema de mapeamento e navegação.

Justificativa

- Diversas aplicações:
 - Transporte de materiais;
 - Veículos autônomos;
 - Exploração de ambientes inóspitos e de difícil acesso.
- Aplicação de conhecimento obtido durante o curso.
- Sistema de mapeamento e navegação com sensores de baixo custo.

Objetivos

- Implementar um sistema de navegação de robôs, usando técnicas de SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*).
 - Programar funções básicas do robô;
 - Implementar a comunicação entre o robô e o computador;
 - Tratar dados dos sensores ultrassônico e infravermelho;
 - Implementar a solução de mapeamento do ambiente;
 - Implementar algoritmos para navegação do robô;
 - Realizar testes e avaliar os resultados.

Metodologia

- Materiais utilizados: robô Frank e computador do autor.
- Linguagens: C++ e Java.
- Etapas:
 1. Levantamento bibliográfico;
 2. Definição da solução;
 3. Implementação da solução e testes iniciais;
 4. Testes finais e avaliação dos resultados.






Navegação de Robôs Móveis

- Matarić (2007) define um robô como “um sistema autônomo que existe em um mundo físico, pode perceber o ambiente a sua volta e pode atuar nele para alcançar seus objetivos”.
- Problema da navegação de robôs móveis: robôs capazes de se locomover pelo ambiente, cujo o objetivo é obter sucesso no seu deslocamento de um ponto inicial a um ponto objetivo, livre de colisões.
- Diversas dificuldades são encontradas neste processo.

Navegação de Robôs Móveis

- Principais problemas que podem estar envolvidos:
 - Localização;
 - Busca;
 - Planejamento de trajetória;
 - Cobertura;
 - SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*).
- Abordagens empregadas:
 - Deliberativa;
 - Reativa;
 - Híbrida.

Abordagem deliberativa






- O robô necessita de um modelo prévio do ambiente: um mapa
 - Ambiente estático e conhecido.
- Problemas enfrentados:
 - Localização 
 - Busca 
 - Planejamento de trajetória 
 - Cobertura 
 - SLAM 
- Foco das soluções: planejar trajetórias.
- Classes de métodos: mapeamento de caminhos, decomposição em células e método dos campos potenciais.

Abordagem reativa

- Sem conhecimento prévio do ambiente, o robô toma decisões baseando-se nas leituras atuais de seus sensores.
- Estímulo => reação.
- Permite lidar com ambientes complexos, desconhecidos e dinâmicos.
- Não adquire conhecimento sobre o ambiente.

Abordagem reativa

■ Problemas enfrentados:

- Localização 
- Busca 
- Planejamento de trajetória 
- Cobertura 
- SLAM 

Abordagem híbrida

- Visa unir as vantagens das abordagens anteriores e minimizar suas desvantagens.
- Estratégias de controle baseadas em comportamento.
- Exemplo para navegação:
 - Mapeamento do ambiente antes, ou durante a navegação.
 - Planejamento de trajetória utilizando o mapa, porém desviando de obstáculos detectados pelos sensores que não estavam presentes no mapa.

Localização

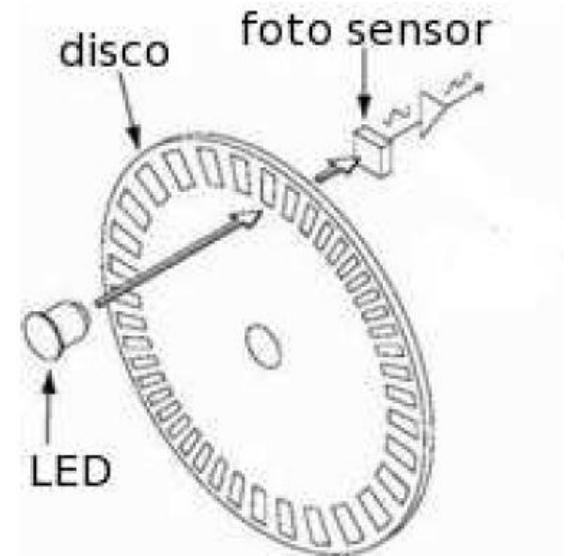
- Problema da localização: determinar a posição do robô no ambiente em que ele está inserido.
- “Onde estou?”
- Problema fundamental para a navegação e para o mapeamento.
- Categorias de métodos: Localização Relativa, Localização Absoluta e Fusão de Multi-sensores

Localização Relativa

- Localização obtida a partir das estimativas de localizações anteriores, unidas com informações como:
 - Comandos de movimentação;
 - Dados obtidos pelos sensores.
- Desvantagem: propagação e acúmulo de erros.

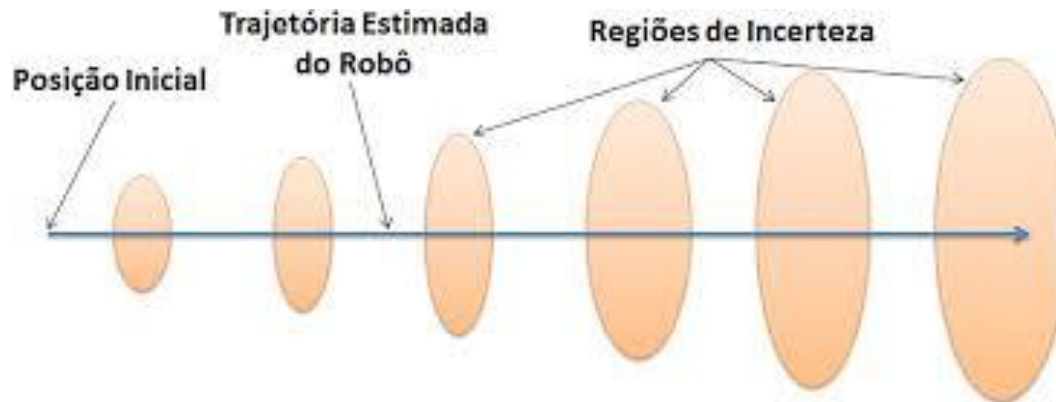
Localização Relativa

- Odometria: determinação da localização do robô a partir do movimento das rodas.
 - Encoders: sensores de rotação que contam a quantidade de giros de cada roda.
 - Baixo custo.
 - Acúmulo de erros.



Localização Relativa

- A odometria está sujeita a dois tipos de erros:
 - Erros sistemáticos: gerados devido às incertezas nos parâmetros do modelo cinemático do robô.
 - Erros não sistemáticos: devido a situações inesperadas.



Localização Absoluta

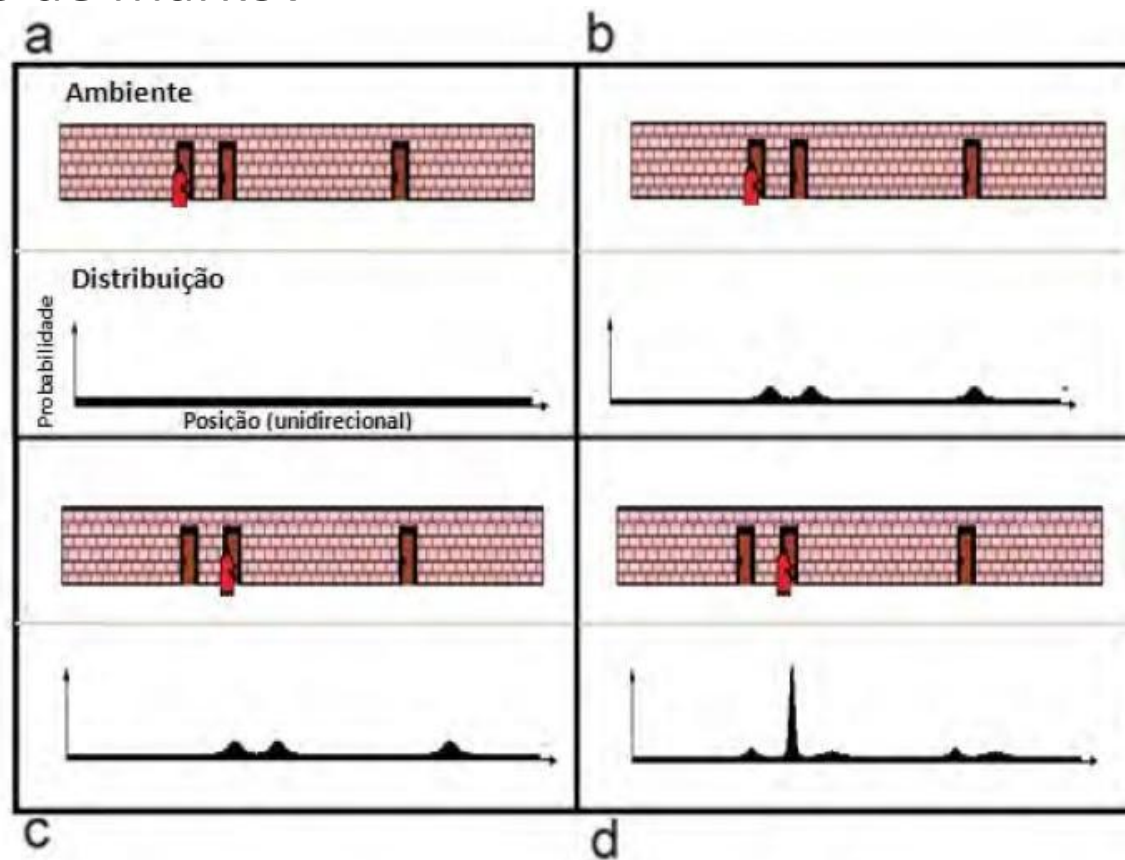
- Localização obtida independentemente de localizações previamente calculadas.
- A localização atual não é derivada de integrações.
- Sem acúmulo de erros.
- Três métodos principais: utilizando *beacons*, *landmarks* ou baseado em mapas.

Localização Absoluta

- Baseado em mapas: com um mapa do ambiente disponível, medições sensoriais sobre o ambiente são adquiridas e comparadas (*matching*) com as informações do mapa.
 - Alto custo computacional
 - Necessidade de sensores precisos

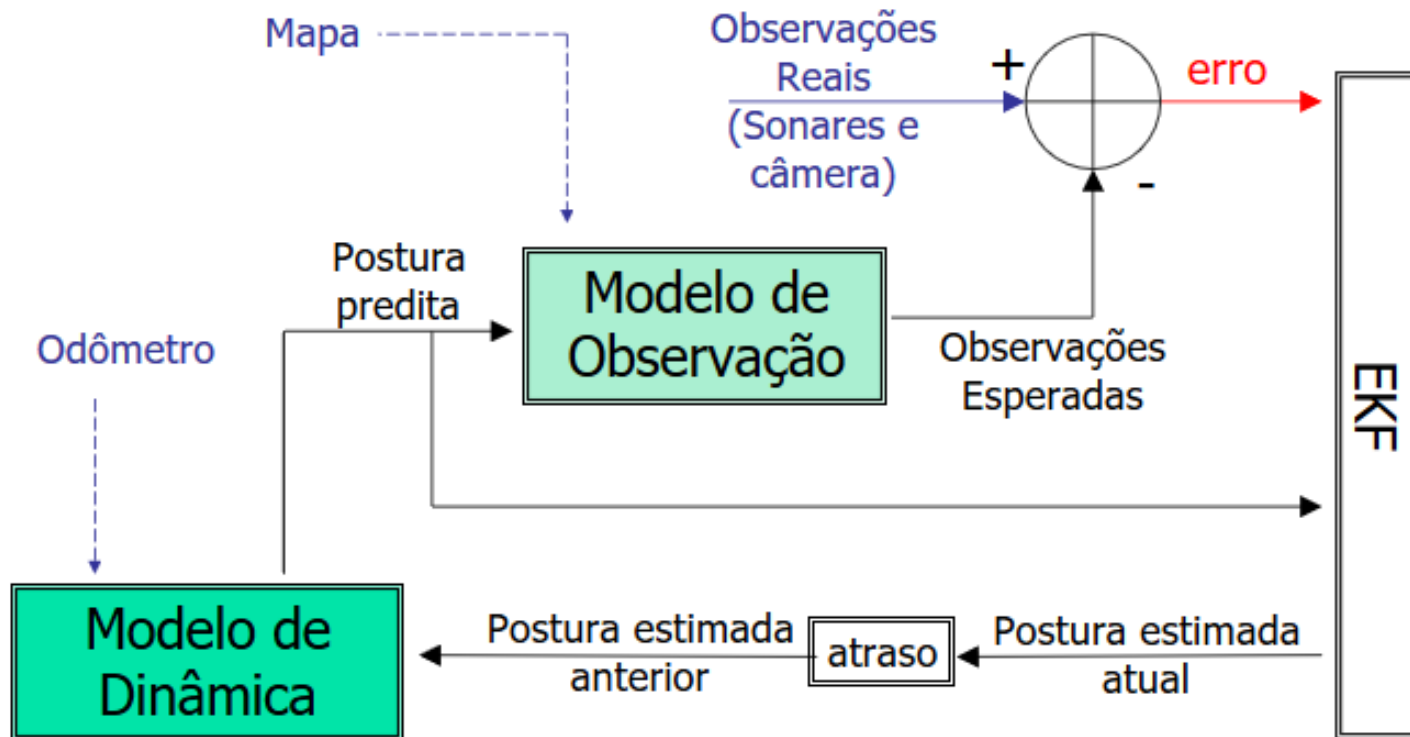
Localização Absoluta

- Método de Markov



Localização Absoluta

- Filtro de Kalman



Localização Absoluta

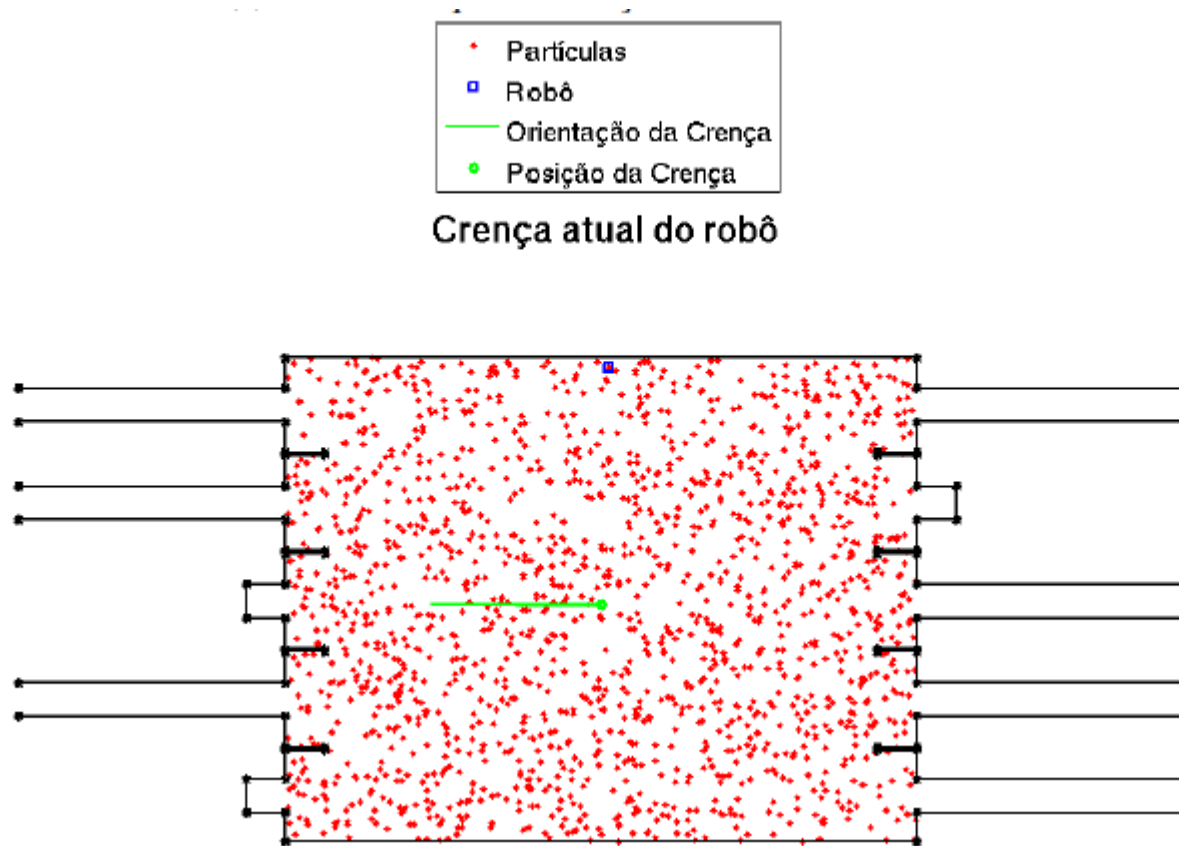
- Filtro de Partículas
 - Também conhecido como método de Monte-Carlo.
 - Filtro baseado em amostras para redes Bayesianas dinâmicas.
 - Trata qualquer tipo de distribuição de probabilidade, diferente do Filtro de Kalman.
 - Pode ser usado tanto para localização global como local.

Localização Absoluta

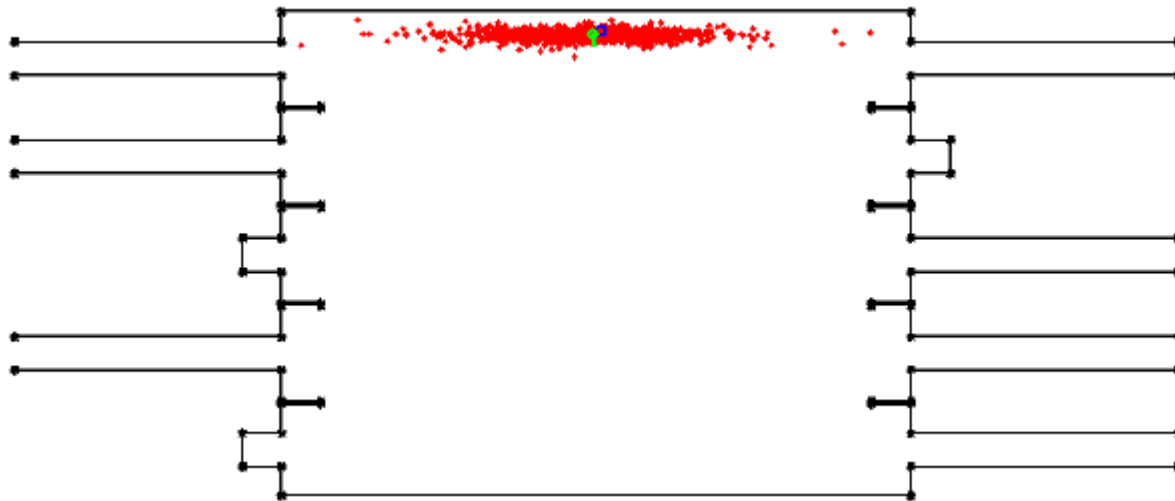
- Filtro de Partículas

- Utilização de um conjunto de partículas, onde cada partícula representa uma possível posição (x, y, θ) do robô.
- A partir das observações do robô, determina-se a “crença” de cada partícula, a probabilidade do robô estar na posição referente aquela partícula.

Localização Absoluta



Localização Absoluta



Localização Absoluta

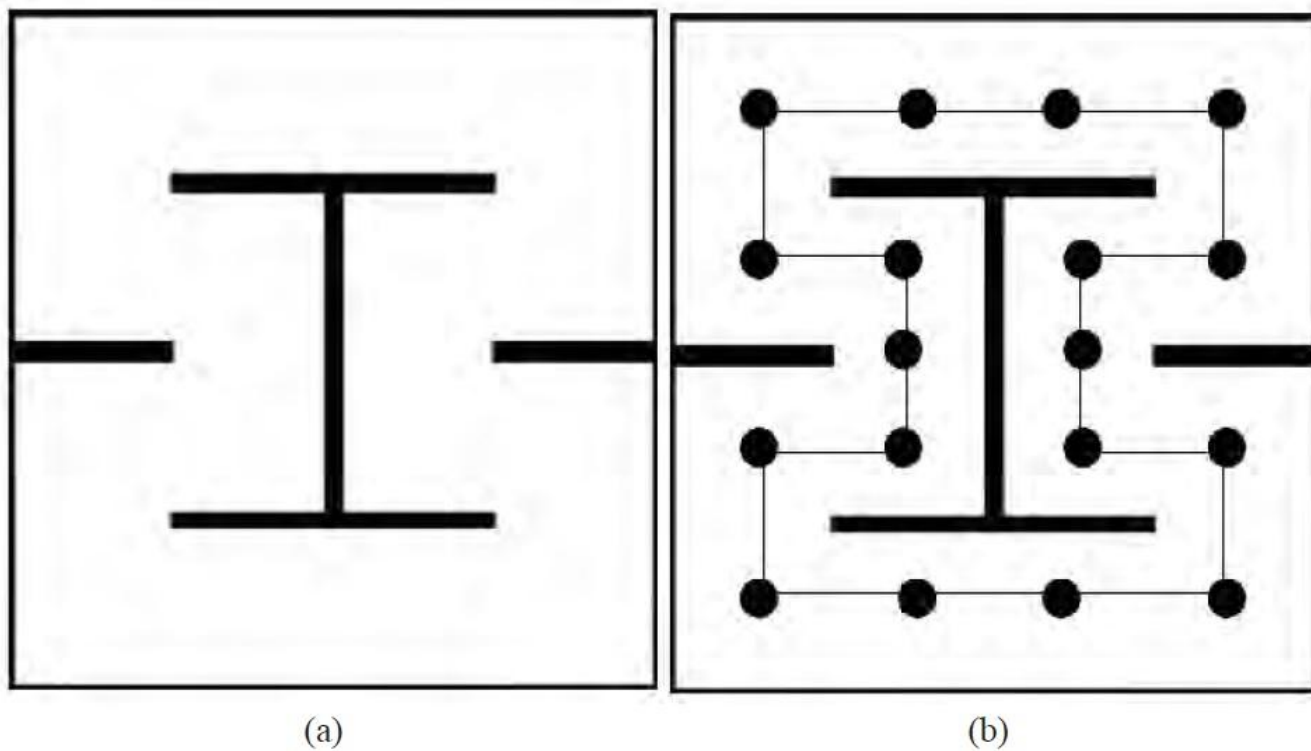


Mapeamento

- Mapeamento = tarefa de construir representações de um ambiente, a partir dos dados obtidos dele.
- O robô deve ser capaz de perceber o ambiente a sua volta
=> uso de sensores.
- Desafios:
 - Imprecisão e erros dos sensores;
 - Dimensão do ambiente;
 - Associação de dados;
 - Ambientes dinâmicos.

Mapeamento

- Mapas topológicos ou relacionais



Mapeamento

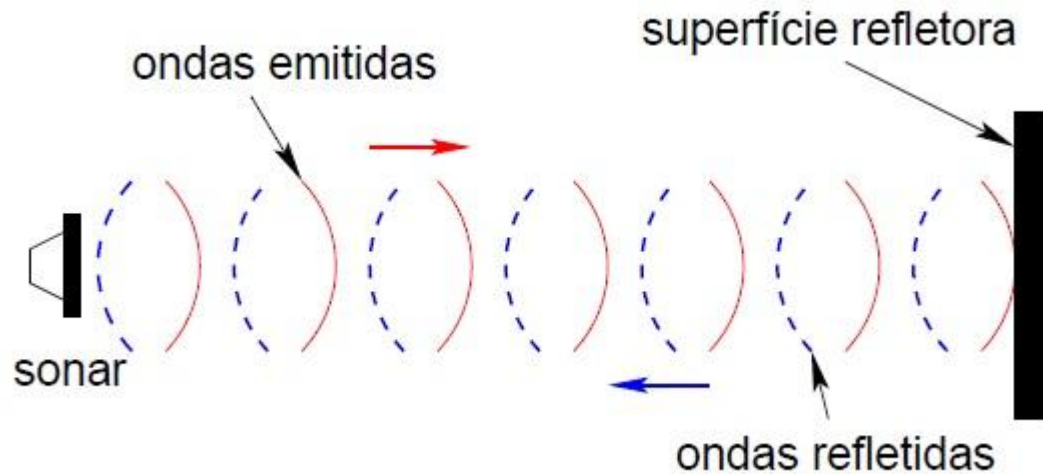
- Mapas métricos
 - Produz uma definição geométrica do ambiente em que o robô está inserido.
 - Mais fáceis de construir, representar e manter.
 - Requer uma determinação precisa da localização do robô.
 - Método utilizado neste trabalho: grades de ocupação

Grades de Ocupação

- Método proposto por Elfes (1987).
- Representação do ambiente em uma grade, ou matriz, de 2 ou 3 dimensões.
- Cada célula da grade armazena a probabilidade daquele espaço estar ocupado.
- A probabilidade de ocupação das células é atualizada considerando:
 - Teorema de Bayes;
 - Dados sensoriais, e seus modelos probabilísticos;
 - Localização do robô.

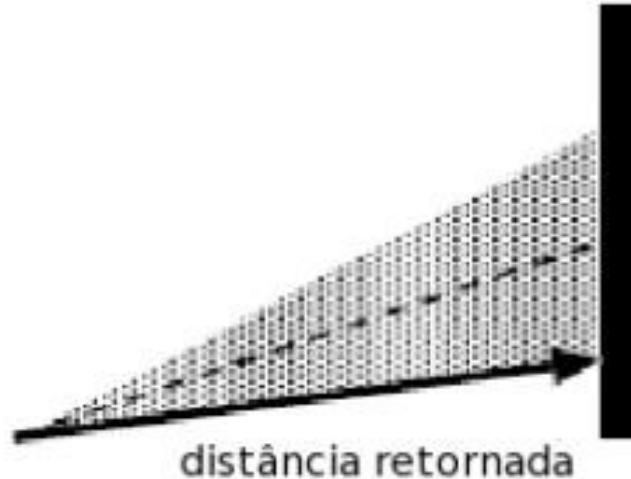
Sensor de Ultrassom

- Mede distâncias utilizando o tempo de propagação de ondas sonoras.



Sensor de Ultrassom

- Problemas enfrentados:
 - Imprecisões no circuito temporizador
 - Distância reduzida



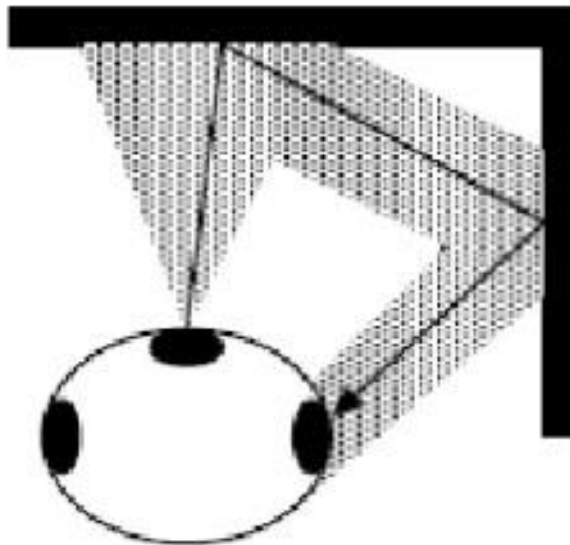
Sensor de Ultrassom

- Problemas enfrentados:
 - Reflexão especular



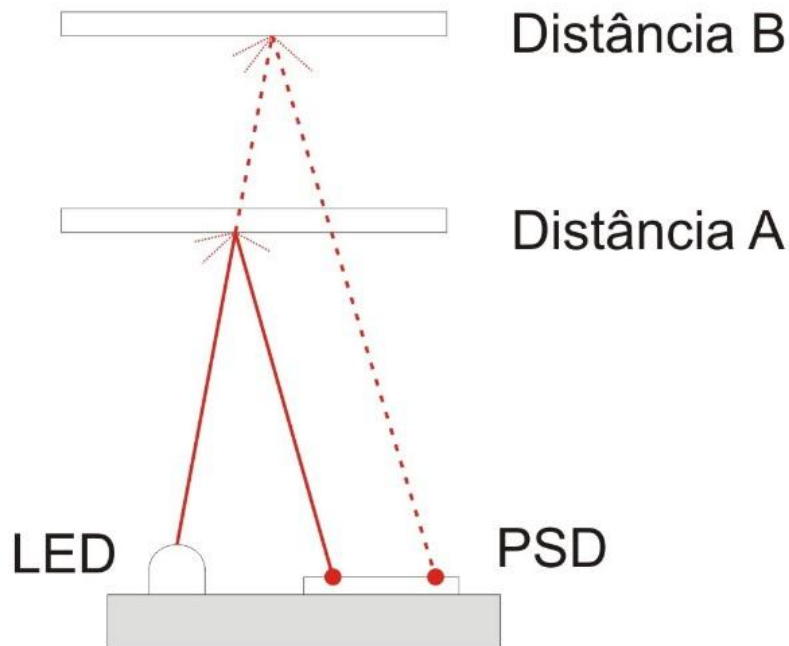
Sensor de Ultrassom

- Problemas enfrentados:
 - Leituras cruzadas



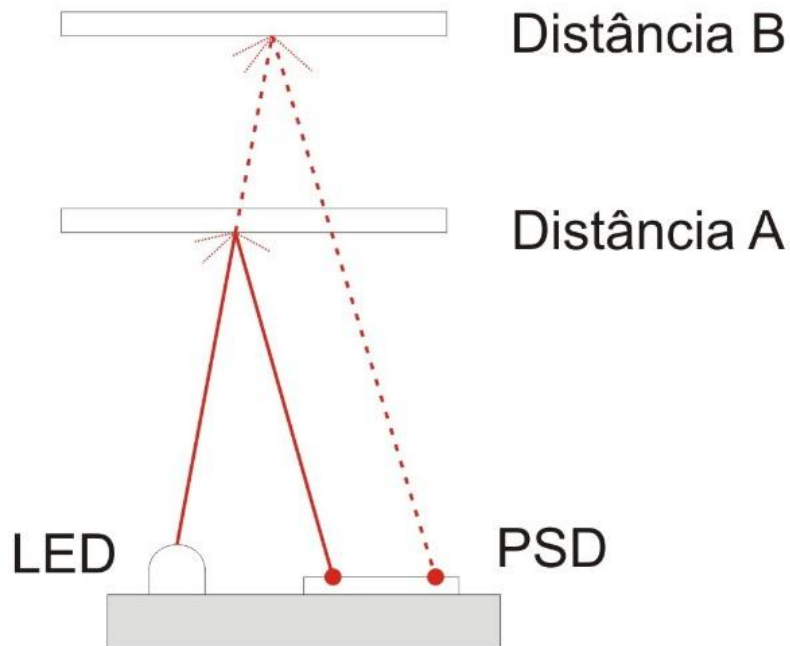
Sensor Infravermelho

- Distância calculada por triangulação, considerando a posição em que o feixe de luz infravermelho atinge o dispositivo receptor PSD (*Position Sensing Device*).



Sensor Infravermelho

- Sujeito a erros semelhantes aos do sonar.
- Baixo custo e tamanho reduzido.

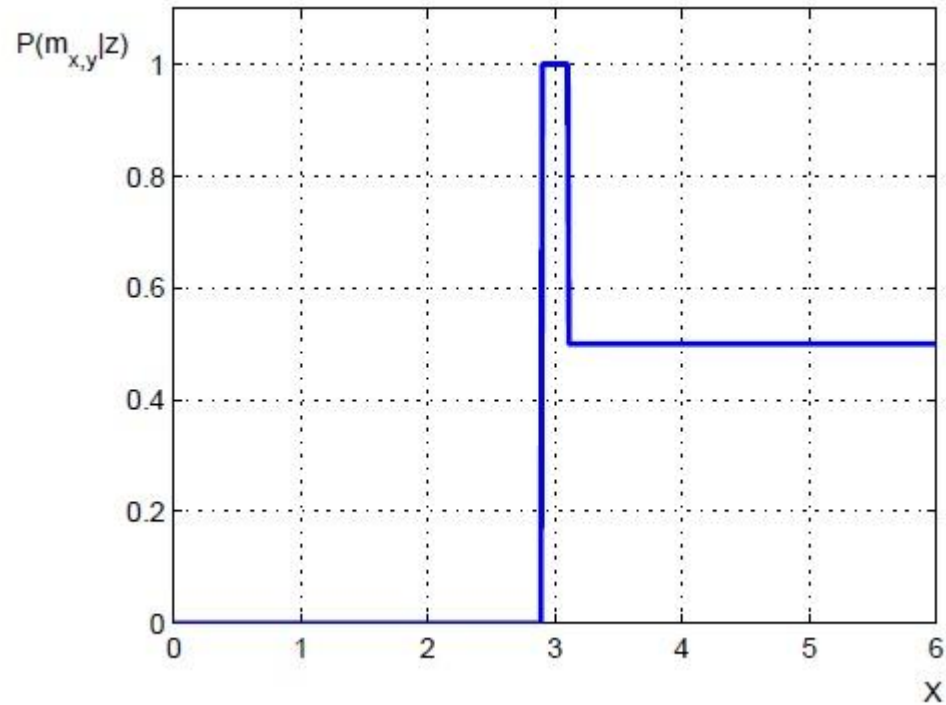


Modelo probabilístico dos sensores

- Ambos sensores sujeitos a erros e imprecisões.
- Dificuldade em encontrar um modelo probabilístico que compreenda todas essas incertezas.
- O modelo probabilístico é necessário para a atualização das células da grade de ocupação.

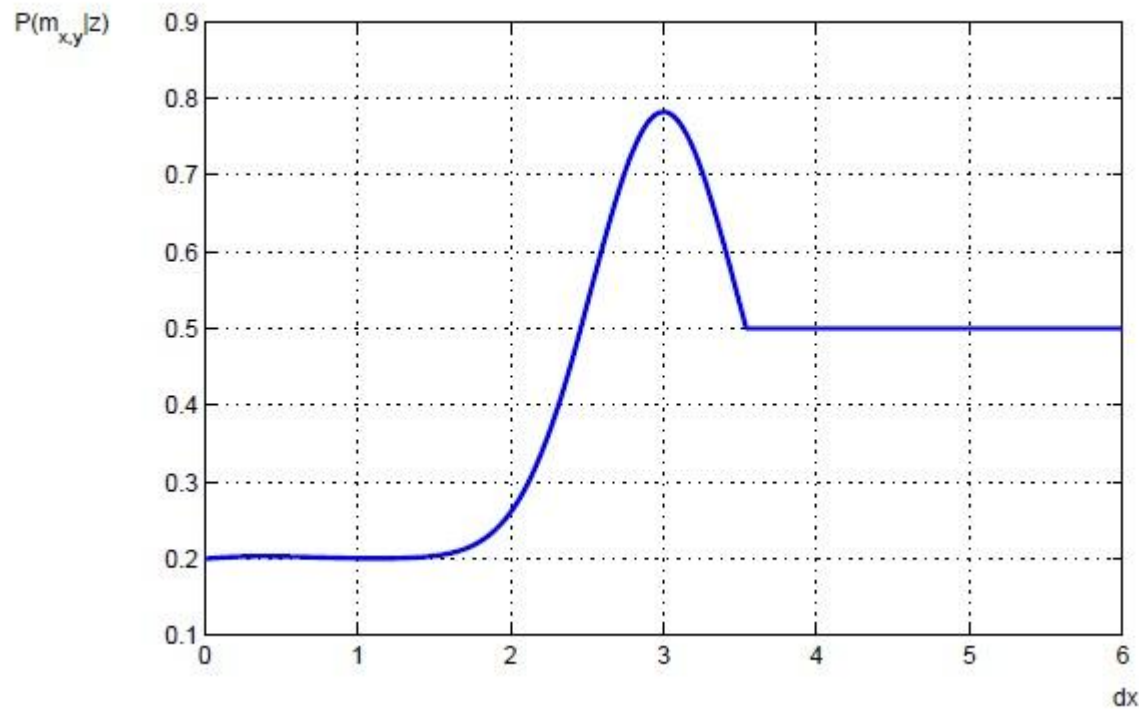
Modelo probabilístico dos sensores

- Modelo de sensor ideal



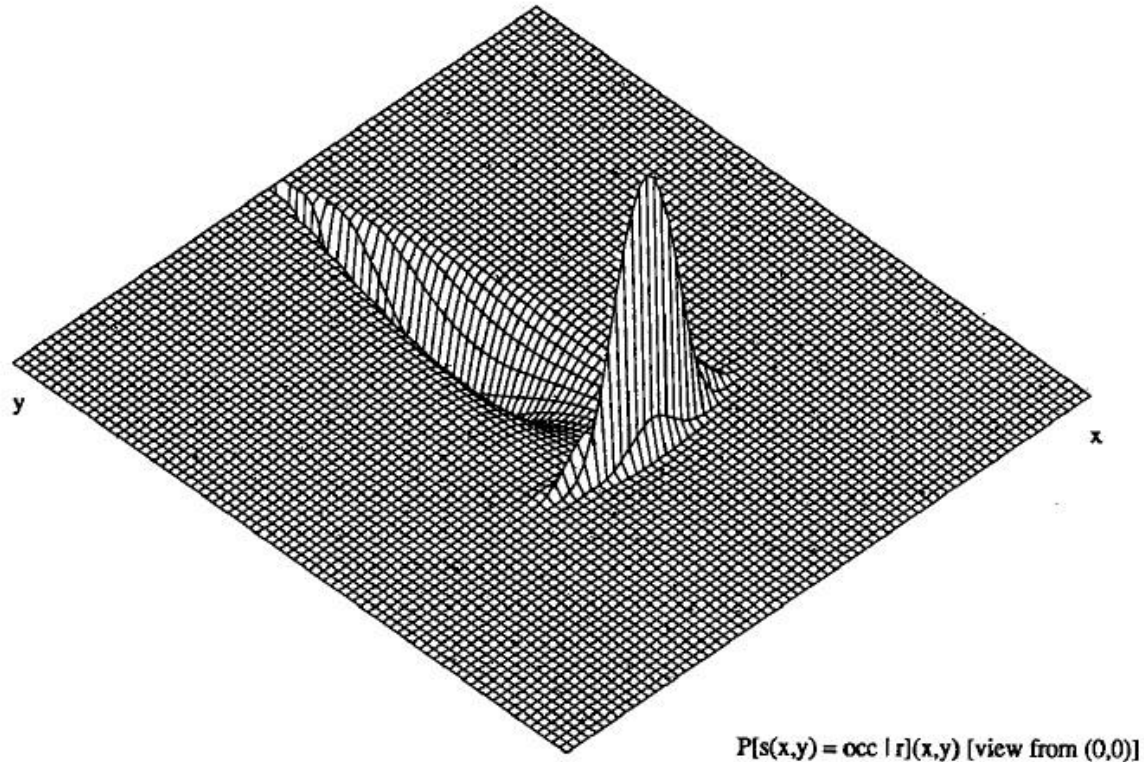
Modelo probabilístico dos sensores

- Modelo utilizando distribuição Gaussiana



Modelo probabilístico dos sensores

- Modelo utilizando distribuição Gaussiana



SLAM

- Robô colocado em um ambiente desconhecido com localização desconhecida.
 - Para realizar o mapeamento é importante ter a localização.
 - Uma das formas de se localizar no ambiente é ter um mapa consistente dele, o qual pode ser consultado e comparado com os dados sensoriais obtidos.
- Um paradoxo se apresenta, o qual a solução é realizar o mapeamento e a localização simultaneamente, o que constitui o SLAM.
- Considerado um problema difícil que enfrenta diversos desafios.

SLAM

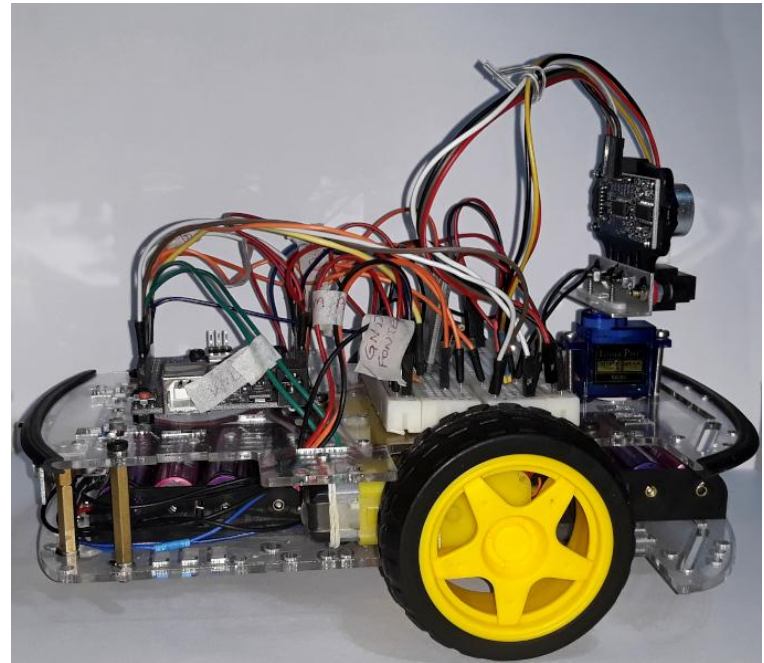
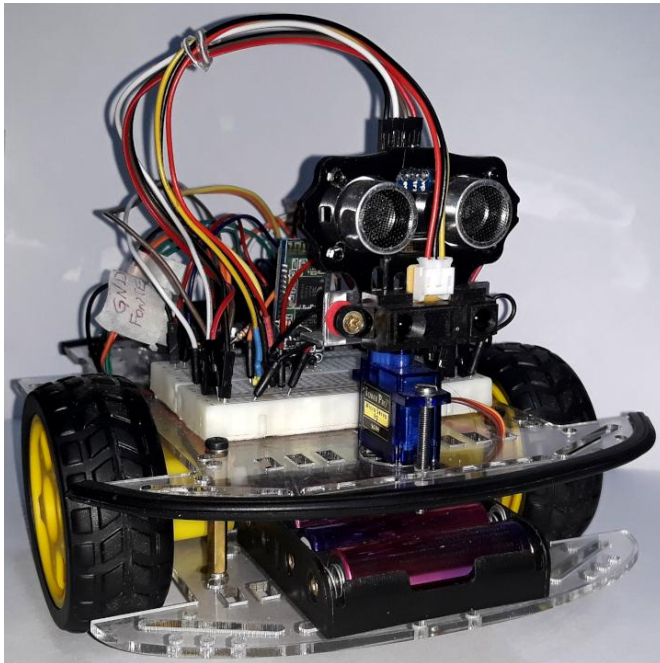
- Problemas e desafios:
 - Ambientes dinâmicos;
 - Associação de dados;
 - Estratégia de exploração;
 - Dimensionalidade;
 - Erros gerados pelos sensores.

SLAM

- As soluções vão envolver os métodos já discutidos de localização e mapeamento.
- Exemplos de soluções:
 - EKF-SLAM
 - FastSLAM
 - GridSLAM
 - DP-SLAM

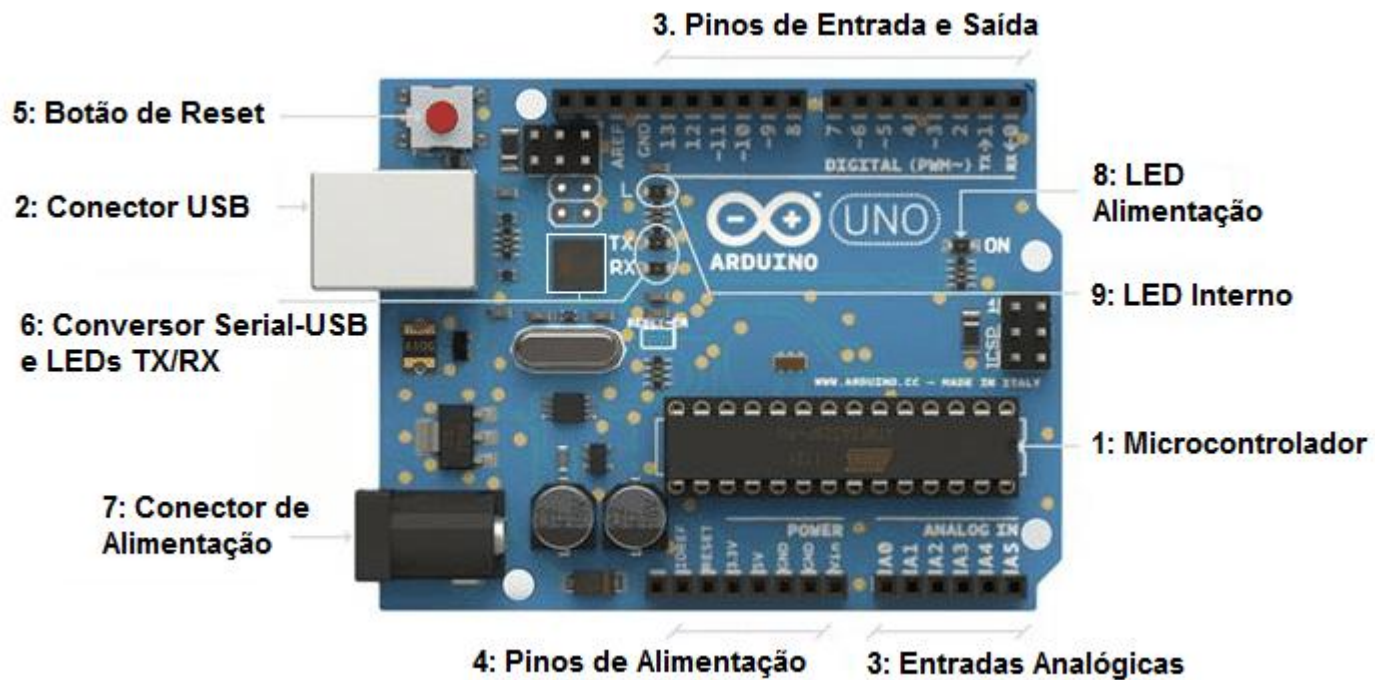
Hardware

- Robô Frank.



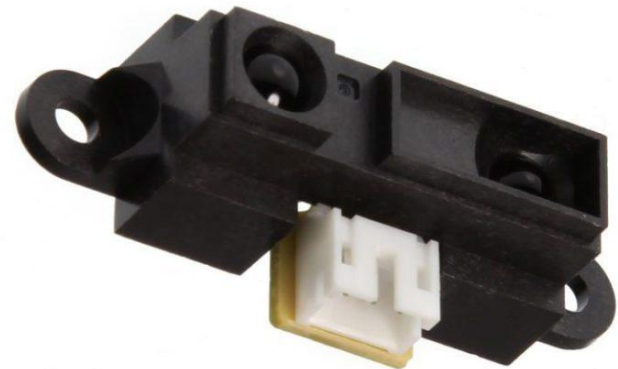
Hardware

■ Arduino.



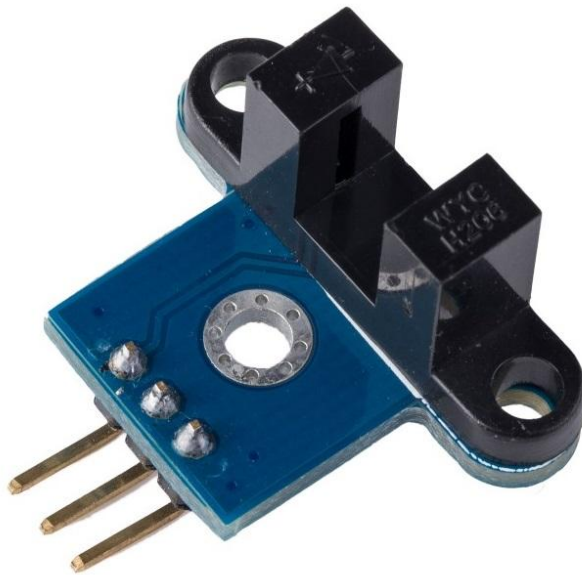
Hardware

- Sensores.



Hardware

- Sensores.

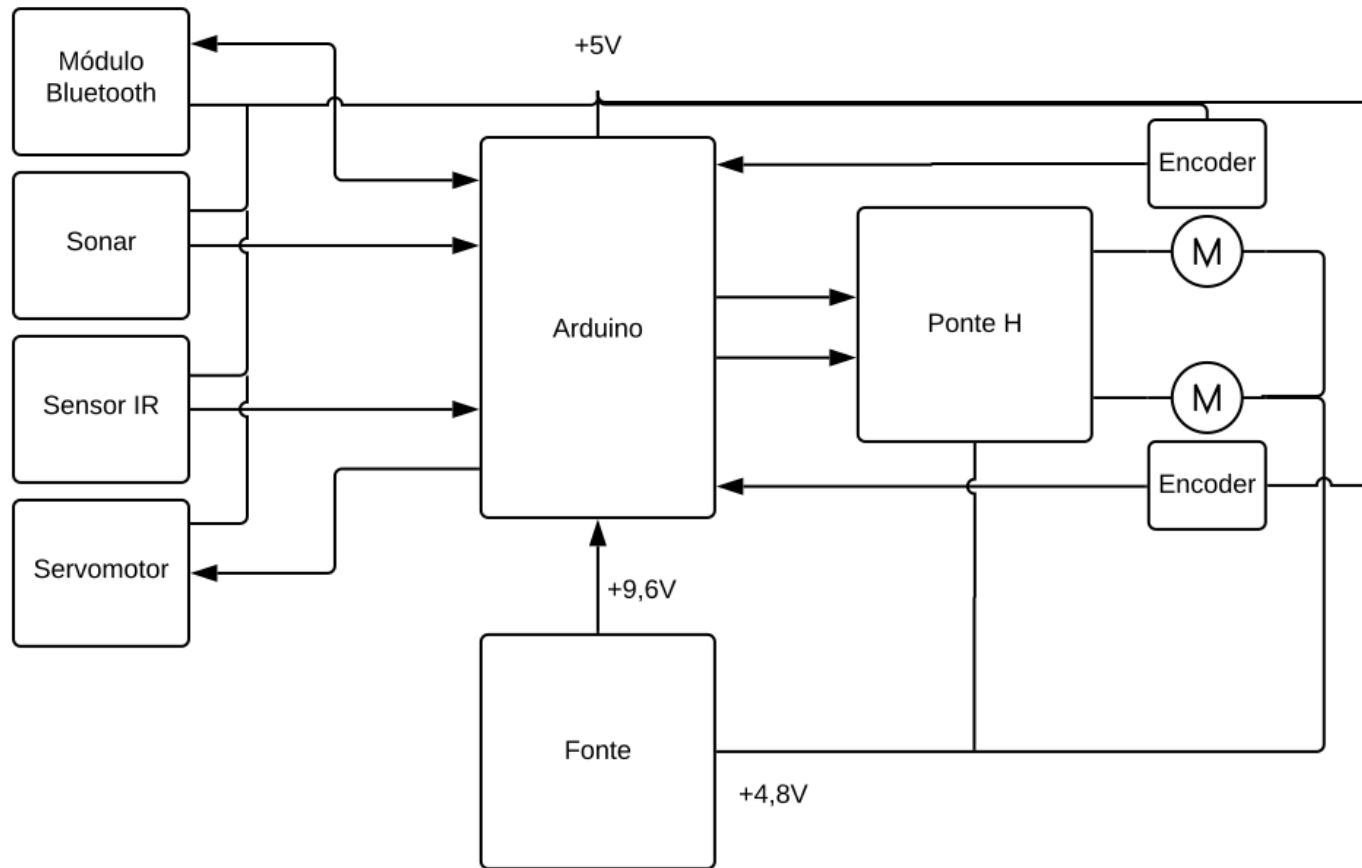


Hardware

- Outros componentes.

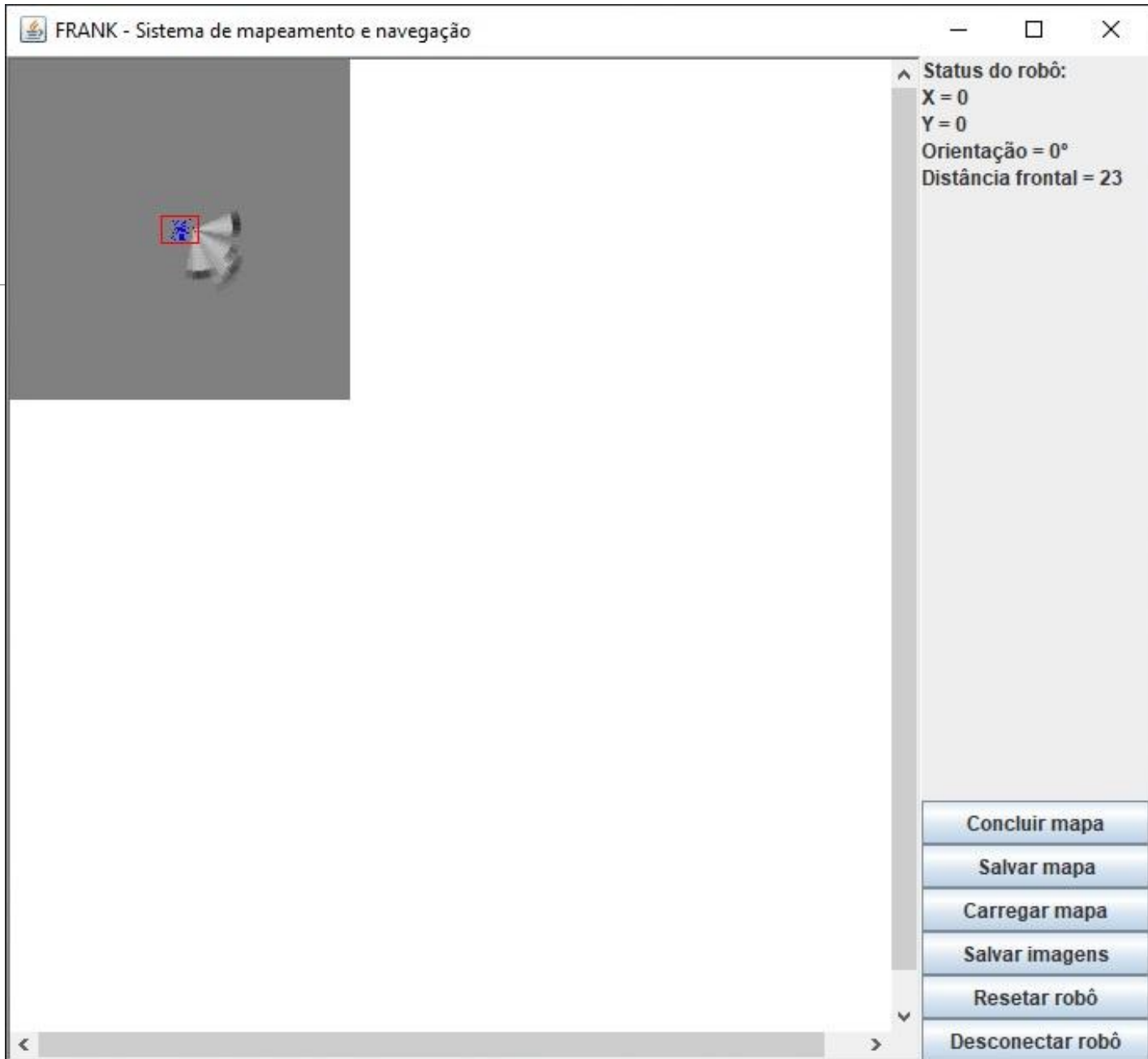


Hardware



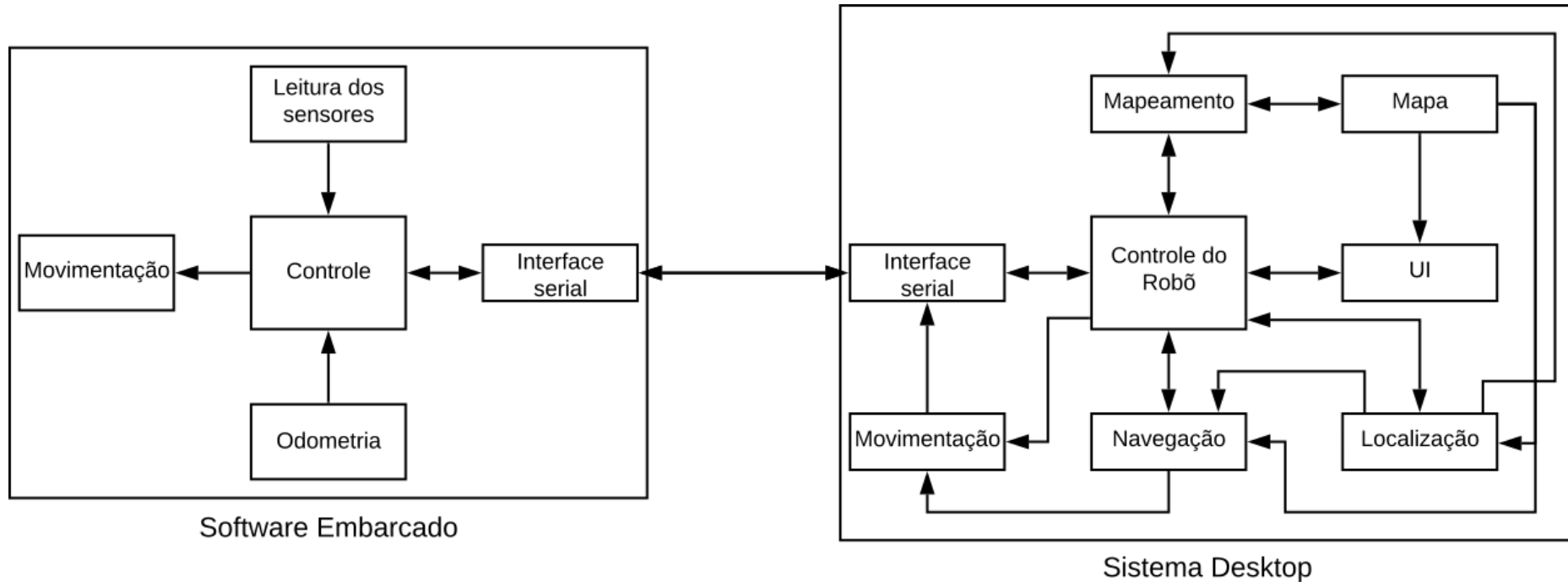
Software

- Dividido em dois sistemas:
 - Sistema embarcado no Arduino (C++);
 - Sistema *Desktop* (Java).
- O sistema desenvolvido permite:
 - Mapear o ambiente do robô;
 - Navegar entre dois pontos criando uma rota a partir do mapa;
 - Controlar a movimentação do robô manualmente;
 - Salvar e carregar mapas produzidos.



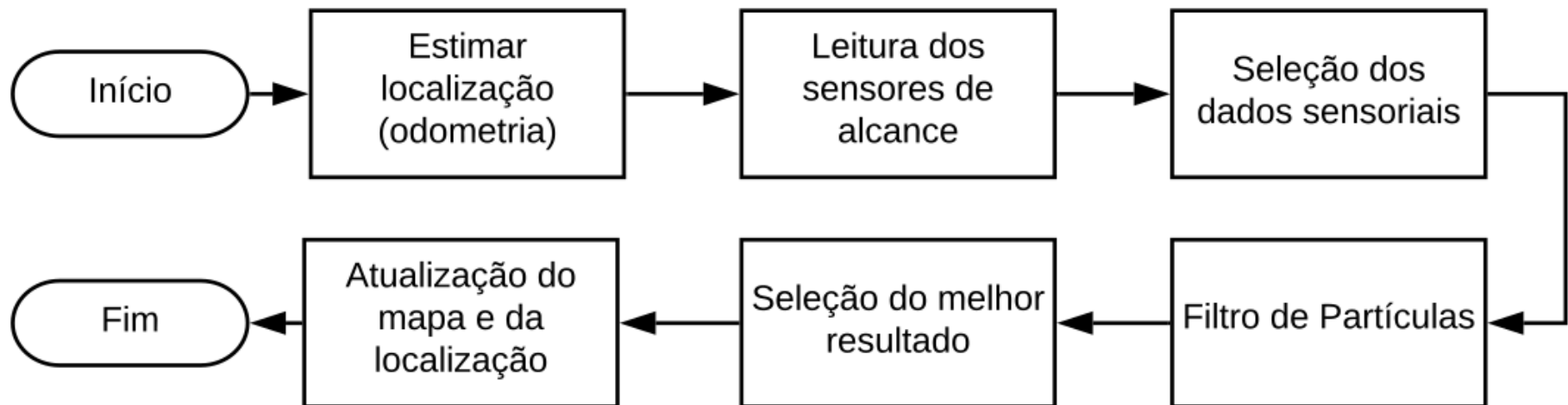
Software

■ Arquitetura geral:



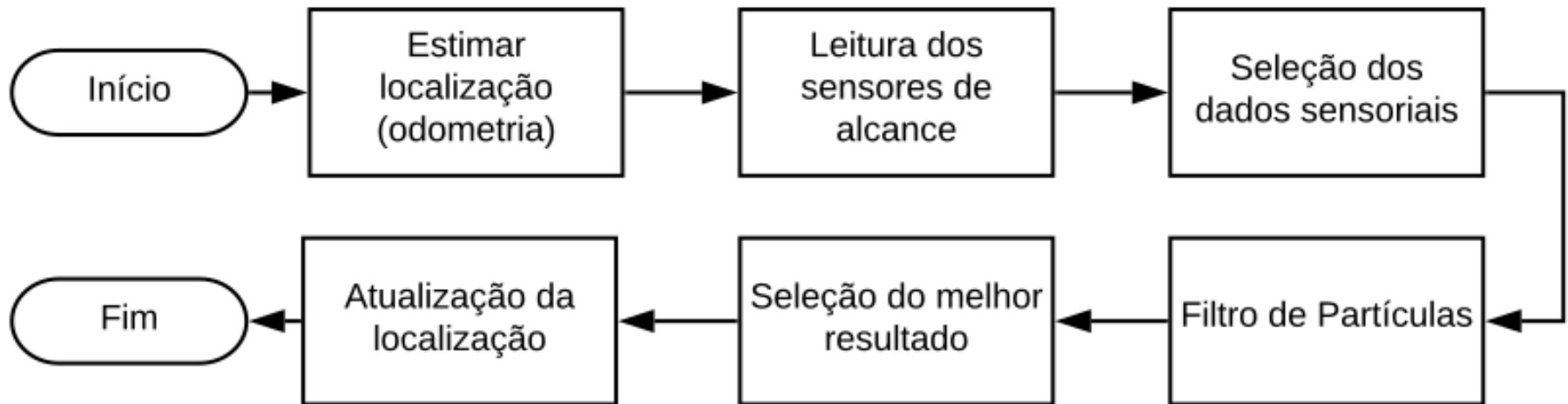
Software

■ Mapeamento:



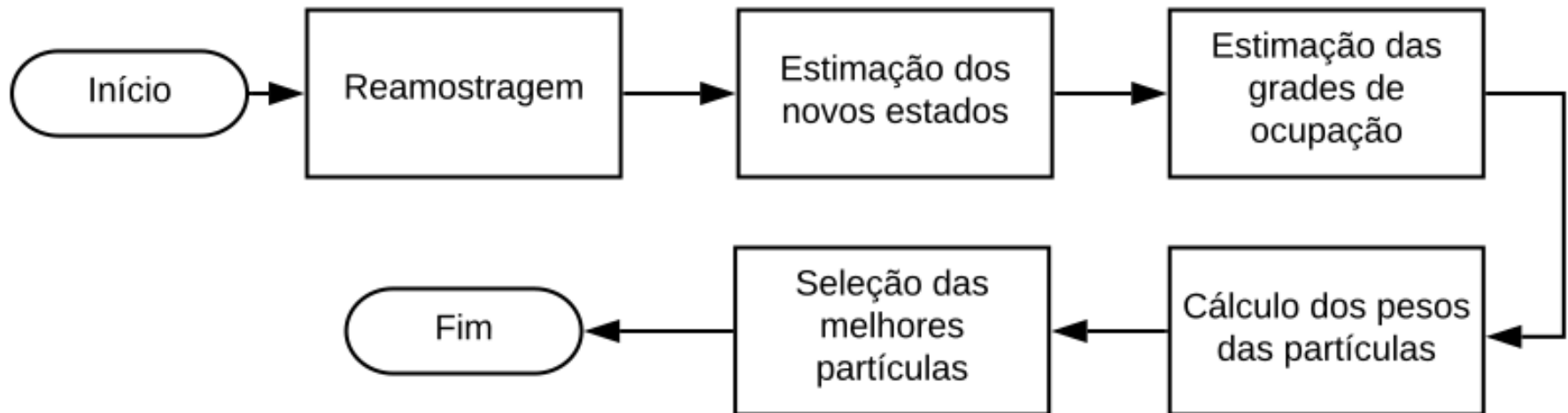
Software

■ Localização:



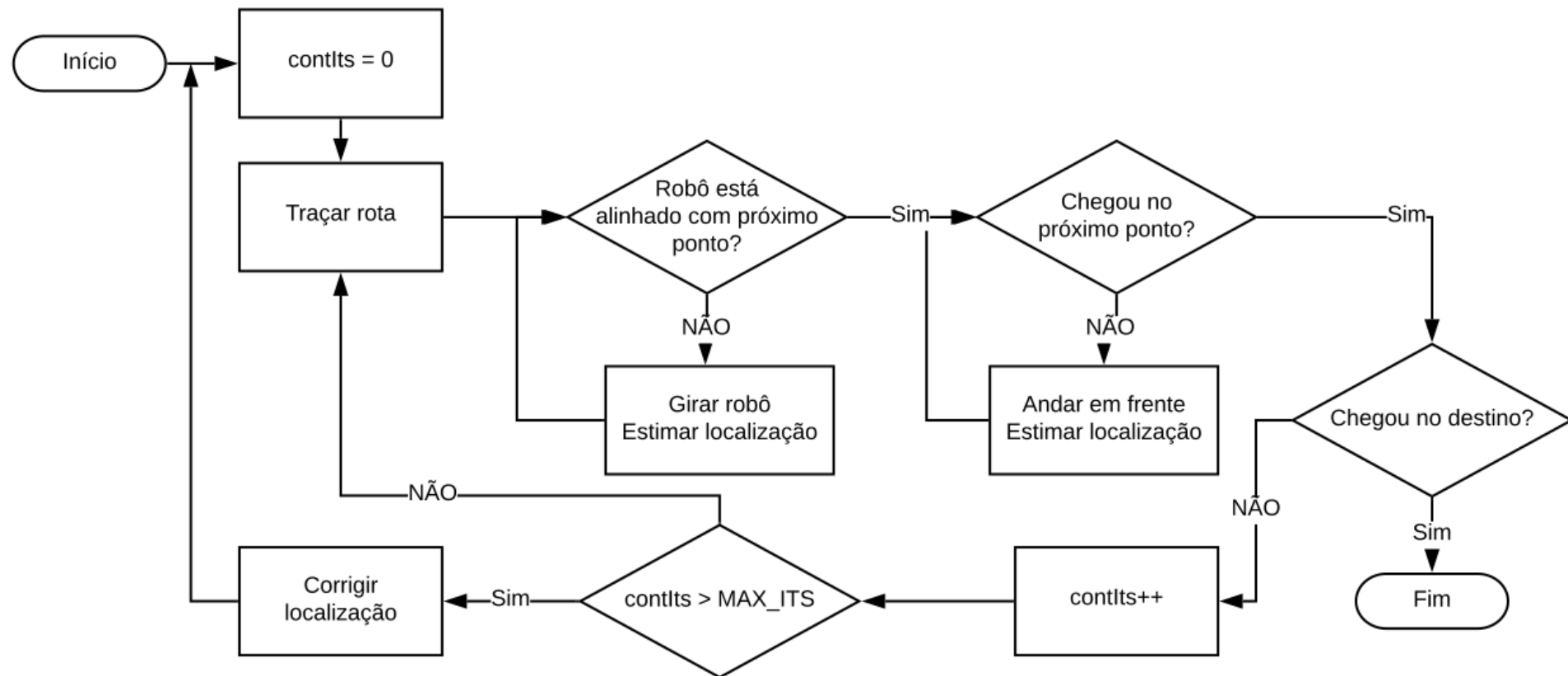
Software

■ Filtro de Partículas:



Software

■ Navegação:

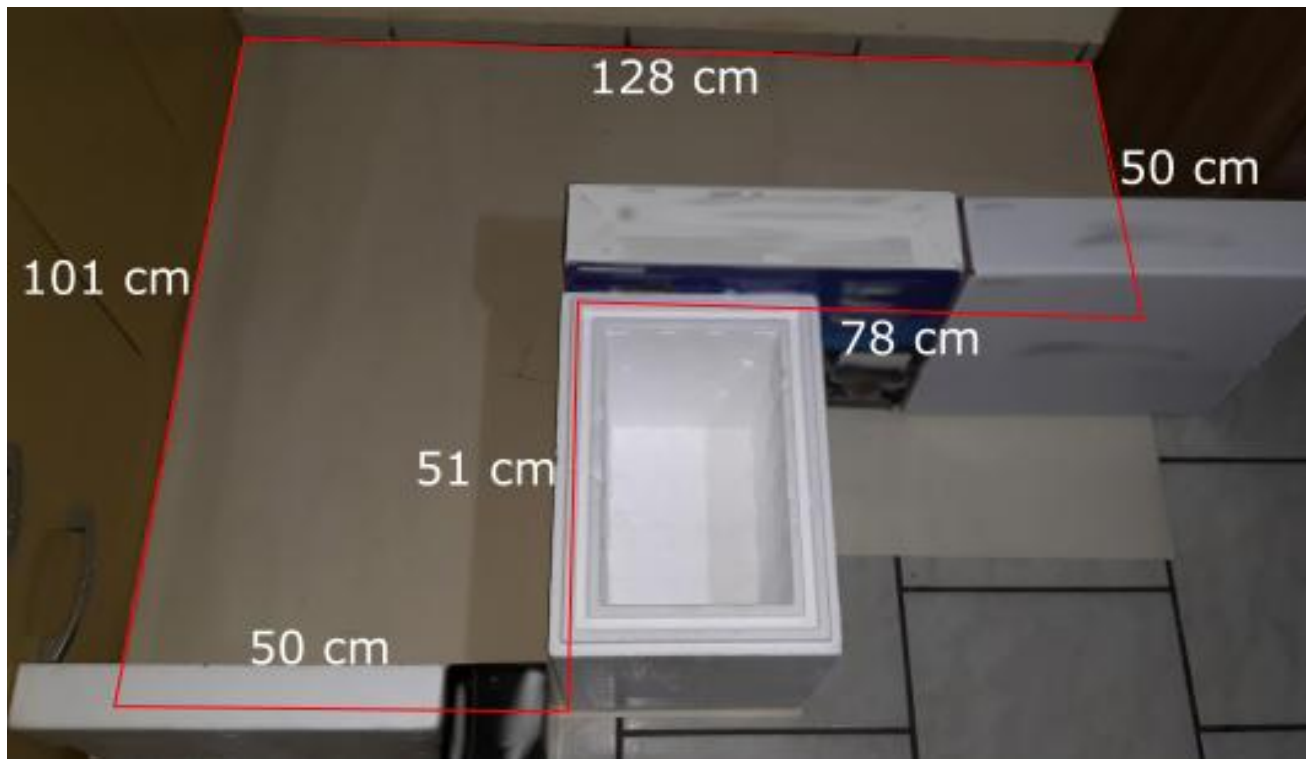


Resultados

- Erros de odometria:
 - Foram realizados experimentos para aferir a precisão da odometria.
 - Os maiores erros encontrados foram na estimativa da orientação do robô.
 - Isso praticamente inviabiliza o uso do filtro de Kalman para estimar a localização do robô (BONTEMPO, 2011).

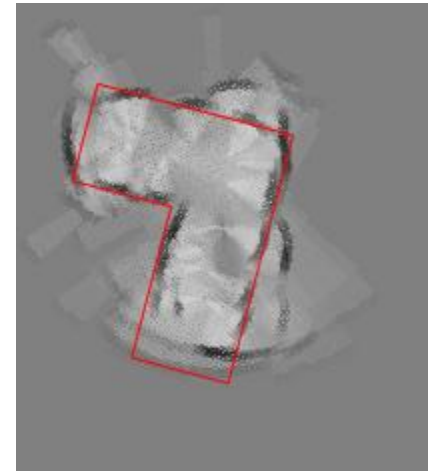
Resultados

- Ambiente para testes de mapeamento e navegação



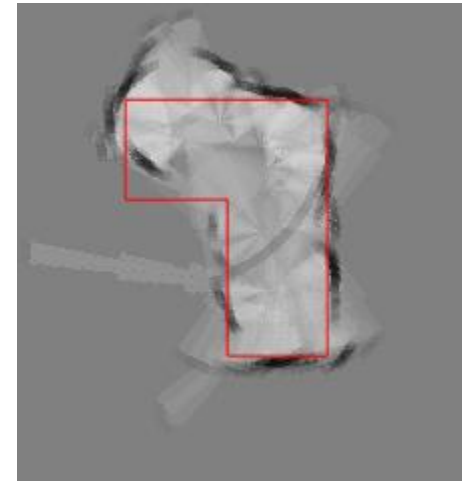
Resultados

- Mapeamento sem filtro de partículas (apenas odometria)



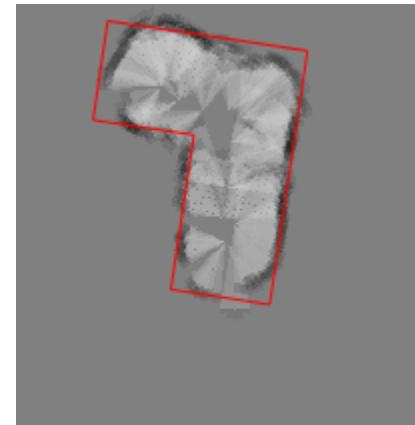
Resultados

- Mapeamento utilizando apenas dados do sonar.



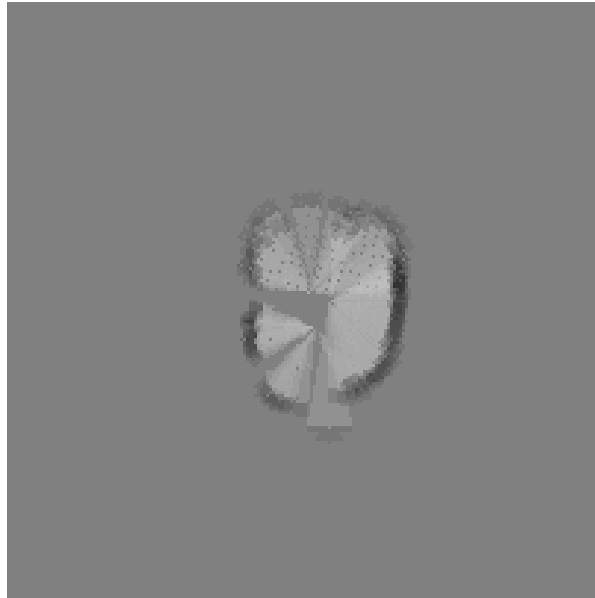
Resultados

- Mapeamento utilizando apenas dados do infravermelho.



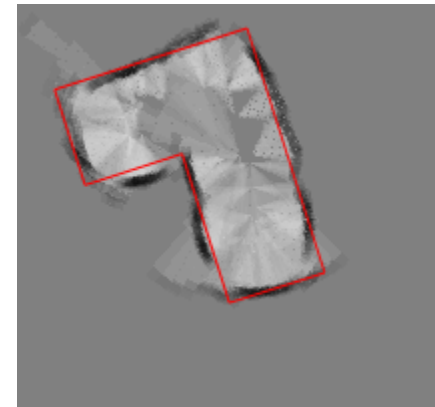
Resultados

- Mapeamento utilizando apenas dados do infravermelho.



Resultados

- Mapeamento utilizando ambos os sensores.

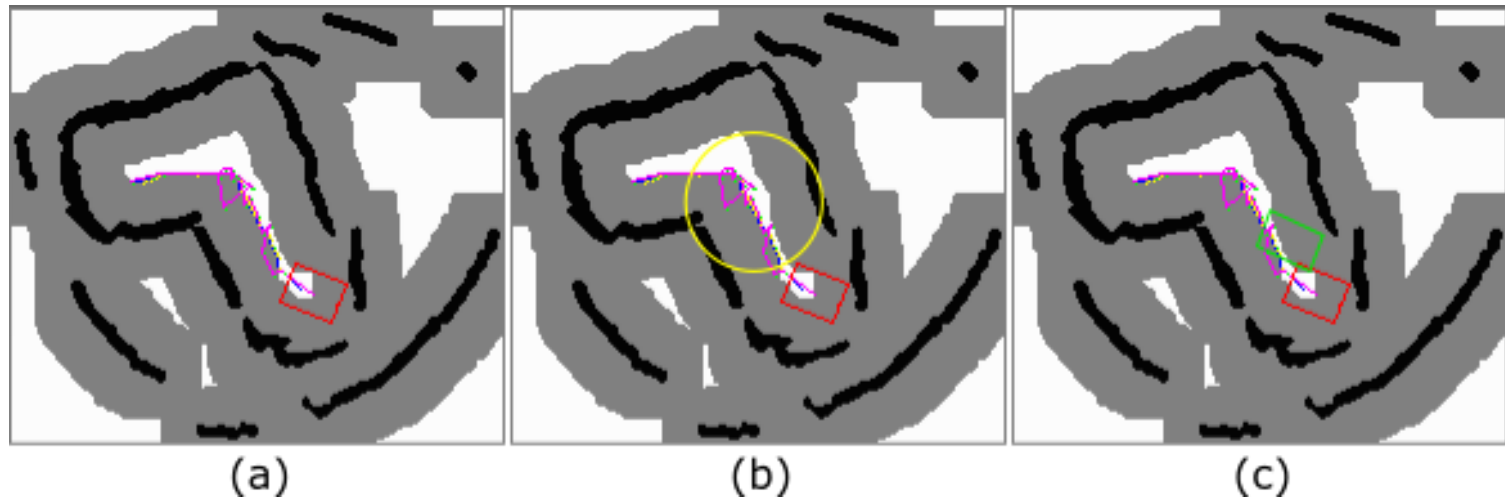


Resultados

- Os resultados utilizando ambos os sensores são relativamente melhores que os dos outros experimentos.
- Os resultados obtidos são satisfatórios, para fins do estudo do problema, ainda mais considerando que são utilizados apenas sensores de baixo custo, com uma taxa de erro alta.

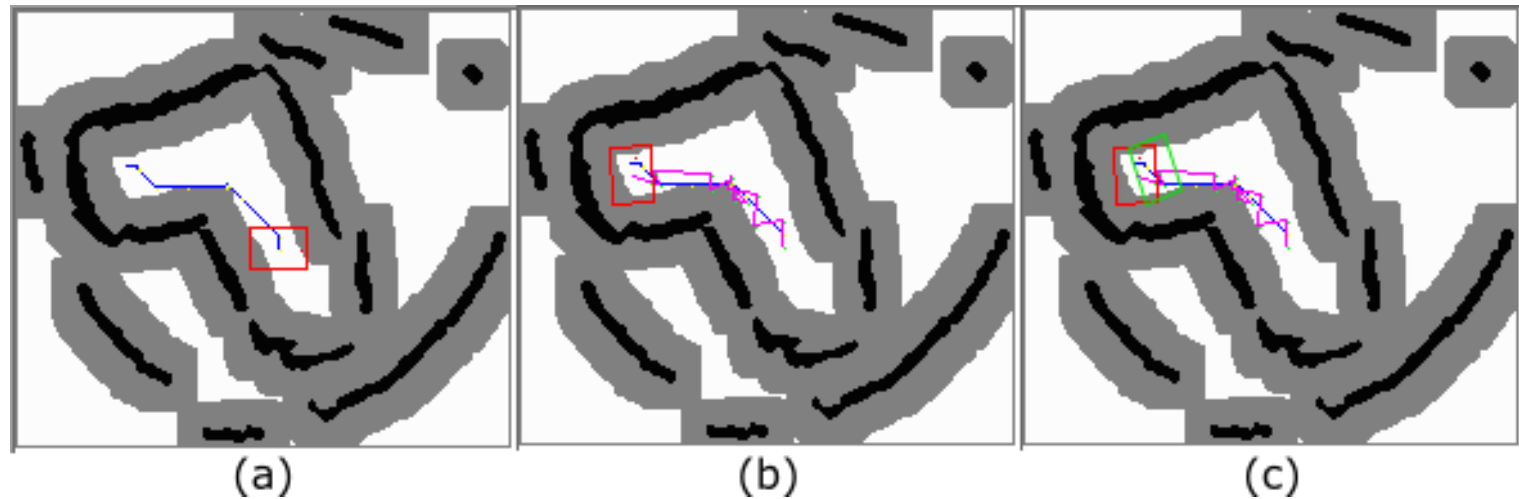
Resultados

■ Resultados da navegação



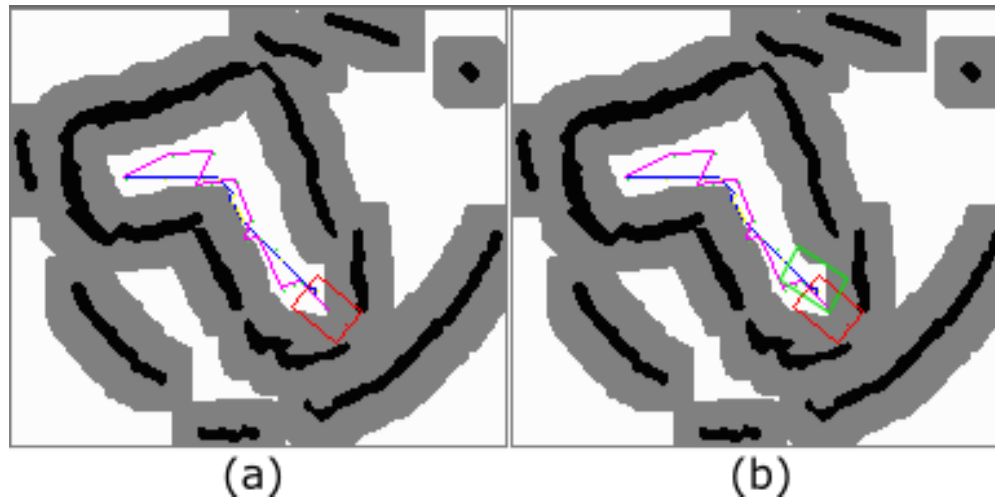
Resultados

■ Resultados da navegação



Resultados

- Resultados da navegação



Resultados

- Os resultados da navegação também foram satisfatórios, para fins de estudos do problema.
- O filtro de partículas para a correção da localização se mostrou essencial para o sucesso da navegação.
- Problemas apresentados:
 - Possíveis colisões com as laterais e a traseira do robô, devido a falta de sensores nessas posições;
 - Tempo de navegação.

Conclusões

- Resultados finais são satisfatórios, do ponto de vista de estudo do problema, em especial pela utilização de sensores de baixo custo.
- Limitação e imprecisão dos sensores e da odometria.
- Os resultados apontam a possibilidade da construção e utilização de robôs de custos não tão elevados para a realização de tarefas complexas.
- Diversas possibilidades de melhorias

Conclusões

- Trabalhos futuros:
 - Utilização de sensores melhores e/ou em maior quantidade;
 - Aplicação de técnicas mais robustas de fusão sensorial;
 - Adição de uma bússola ao robô, melhorando a estimativa da orientação e permitindo a utilização de outras soluções, como o filtro de Kalman;
 - Melhoria da comunicação entre o robô e o computador;
 - Melhoria da método de localização;
 - Implementação de algoritmo de exploração;
 - Teste de métodos baseados em *landmarks*;
 - Processamento paralelo.

Referências

BIGHETI, J. A. Navegação de robôs em ambientes internos usando SLAM. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/87178>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

BONTEMPO, A. P. Uma Abordagem Híbrida para Localização e Mapeamento Simultâneos para Robôs Móveis com Sonares Através de Filtro de Kalman Estendido. Dissertação (Mestrado) — PUC-Rio, 2012

ELFES, A. Sonar-based real-world mapping and navigation. IEEE Journal on Robotics and Automation, IEEE, v. 3, n. 3, p. 249–265, 1987.

MARCHI, J. Navegação de robôs móveis autônomos: estudo implementação de abordagens. Florianópolis, SC, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81441>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

Referências

MATARIĆ, M. J. The robotics primer. Cambridge: Mit Press, 2007.

SOUZA, A. A. d. S. Mapeamento com sonar usando grade de ocupação baseado em modelagem probabilística. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.