



# LRM

*Laboratório de Robótica Móvel*

---

# Robótica Móvel Inteligente: Da Simulação às Aplicações no Mundo Real

**Denis Fernando Wolf**

**Eduardo do Valle Simões**

**Fernando Santos Osório**

**Onofre Trindade Junior**

**Universidade de São Paulo – USP - ICMC**

**Grupo de Sist. Embarcados, Evolutivos e Robóticos**

**LRM – Laboratório de Robótica Móvel**

**INCT – Sistemas Embarcados Críticos**

**INCT**  
*SEC*

**Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos**



# Robótica Móvel Inteligente: Da Simulação às Aplicações no Mundo Real

**Denis Fernando Wolf**

**Eduardo do Valle Simões**

**Fernando Santos Osório**

**Onofre Trindade Junior**

**Universidade de São Paulo – USP - ICMC**

**Grupo de Sist. Embarcados, Evolutivos e Robóticos**

**LRM – Laboratório de Robótica Móvel**

**INCT – Sistemas Embarcados Críticos**

**INCT**  
*SEC*

**Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos**

# Módulo 3: Aplicações

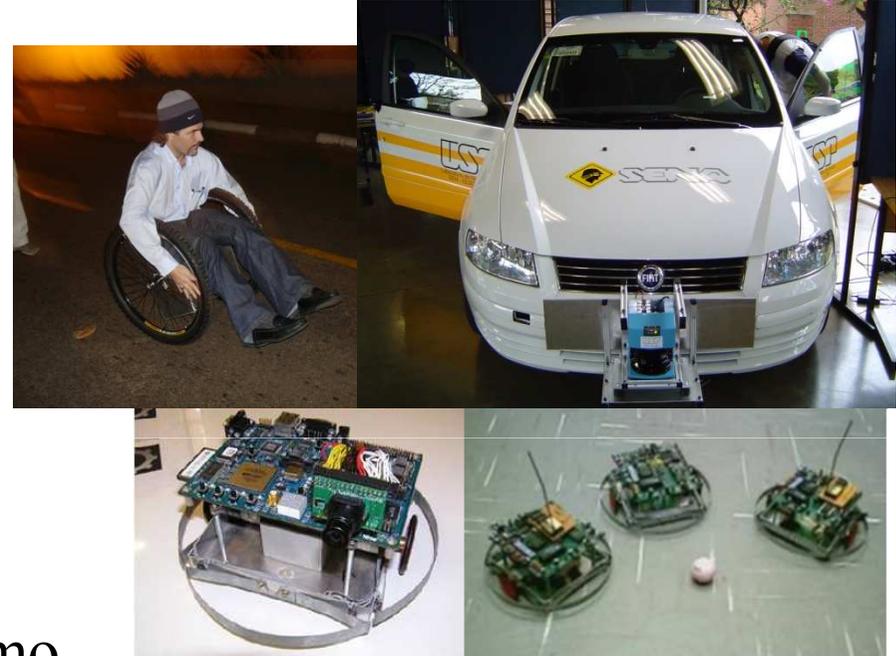
---

## Conceitos:

- Veículos Terrestres Autônomos
  - Robôs com aplicações Civas  
(Cadeira de Rodas, Robôs Educativos, Robôs com Pernas, Projeto SENA, Estacionamento Autônomo)
  - Robôs Móveis Táticos  
(Enxames, Robombeiros)
- Veículos Aéreos Não Tripulados  
(Projeto ARARA)
- Perspectivas e Aplicações da Robótica Móvel

# Veículos Terrestres Autônomos

- Robôs com aplicações Civis:
  - Projeto SENA
  - Robôs Educativos
  - Cadeira de Rodas
  - Robôs com Pernas
  - Estacionamento Autônomo
- Robôs Móveis Táticos:
  - Enxames
  - Robombeiros



# Projeto SENA

---



CSBC 2009 - JAI

# 5 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** *SEC*

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

# INCT-SEC: Veículo Terrestre Autônomo

---

VTNT: Veículo Terrestre Não Tripulado

INCT-SEC - Grupo de Trabalho: Veículo Terrestre Autônomo

Parceria Projeto SENA - USP EESC/ICMC

Parceira CTI/CENPRA

Objetivo:

Desenvolvimento de  
Sistemas de Navegação Autônoma e  
Assistida para veículos terrestres



# INCT-SEC: Veículo Terrestre Autônomo

## Navegação assistida para veículos terrestres



Deteccção de Obstáculos  
e de Pedestres

Sensores:

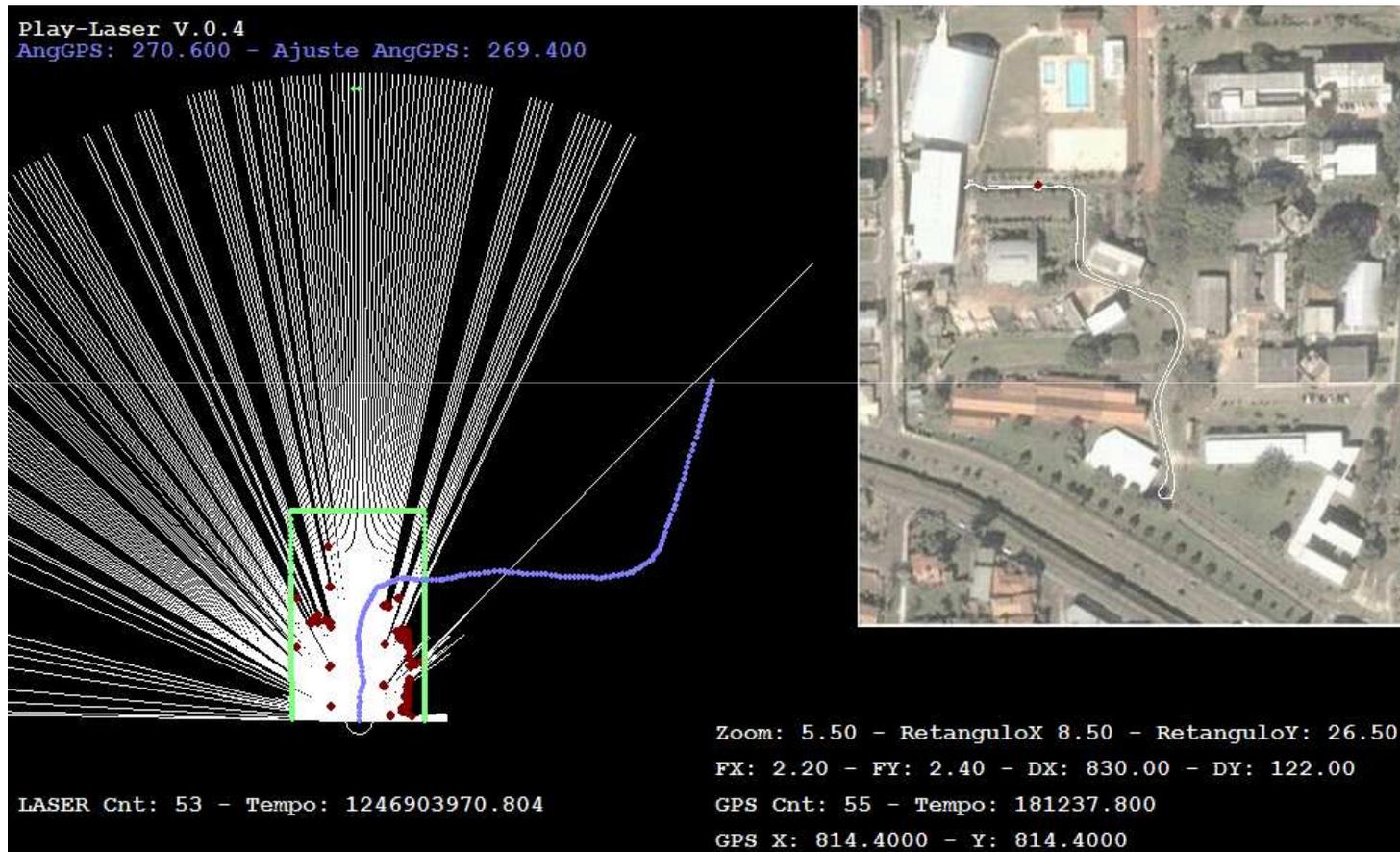
- Laser SICK
- GPS
- Câmera de Vídeo
- Unidade Inercial (IMU)

Alerta em  
Situações de Perigo

# INCT-SEC: Veículo Terrestre Autônomo

Navegação assistida para veículos terrestres

Detecção de Obstáculos

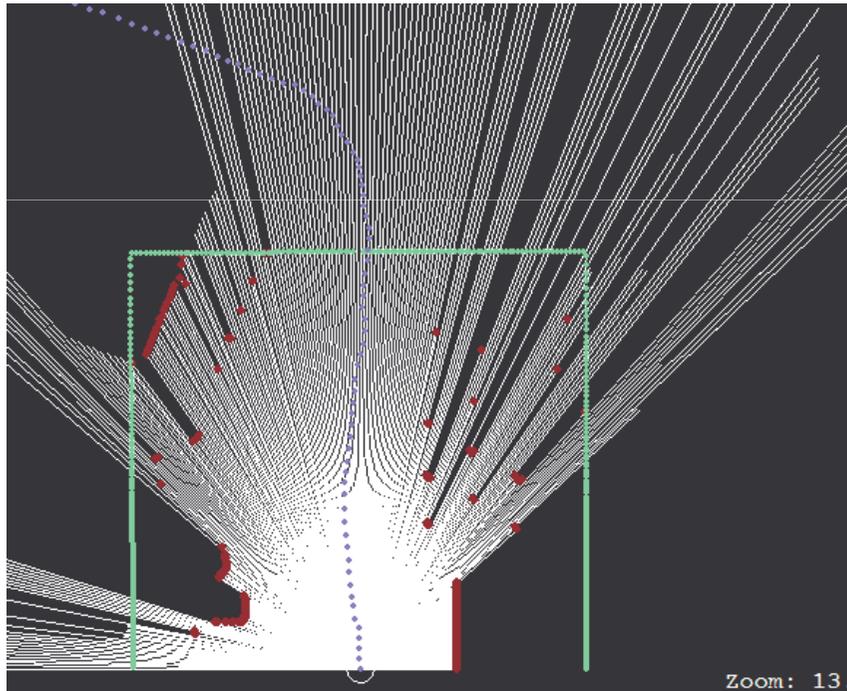


Sensores: Laser SICK, GPS, Câmera de Vídeo

# Veículo Terrestre Autônomo

Navegação assistida para veículos terrestres

Deteccção de Obstáculos e Pedestres  
Alertas de Perigo



Sensores: Laser SICK, GPS, Câmera de Vídeo

# Veículo Terrestre Autônomo



CSBC 2009 - JAI

# 10 Aplicações

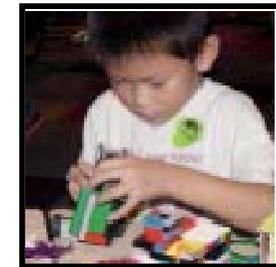
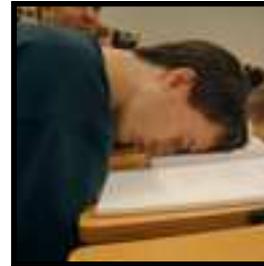


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

# Robôs Educativos



CSBC 2009 - JAI

# 11 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

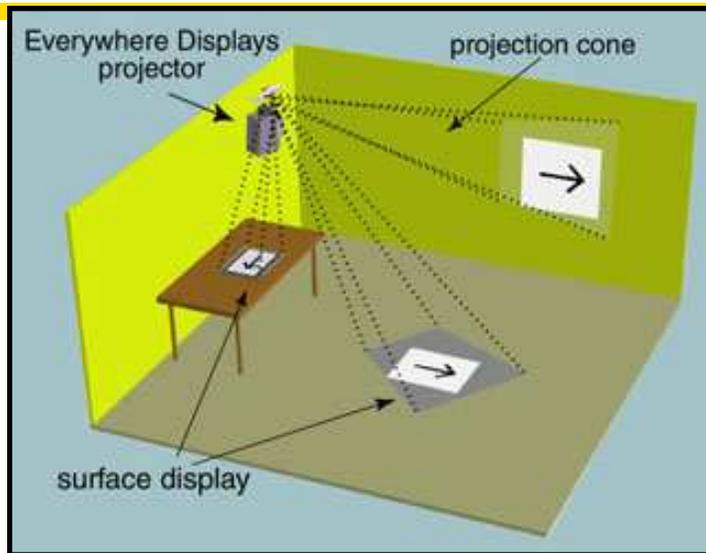
# Robôs Educativos: Motivação

---

- Robótica na Educação
  - chance de solucionar problemas difíceis mais do que observar formas de solução
- Desenvolve
  - lógica, planejamento
  - organização
  - interdisciplinaridade
  - criatividade, raciocínio
  - exploração
  - trabalho em grupo...



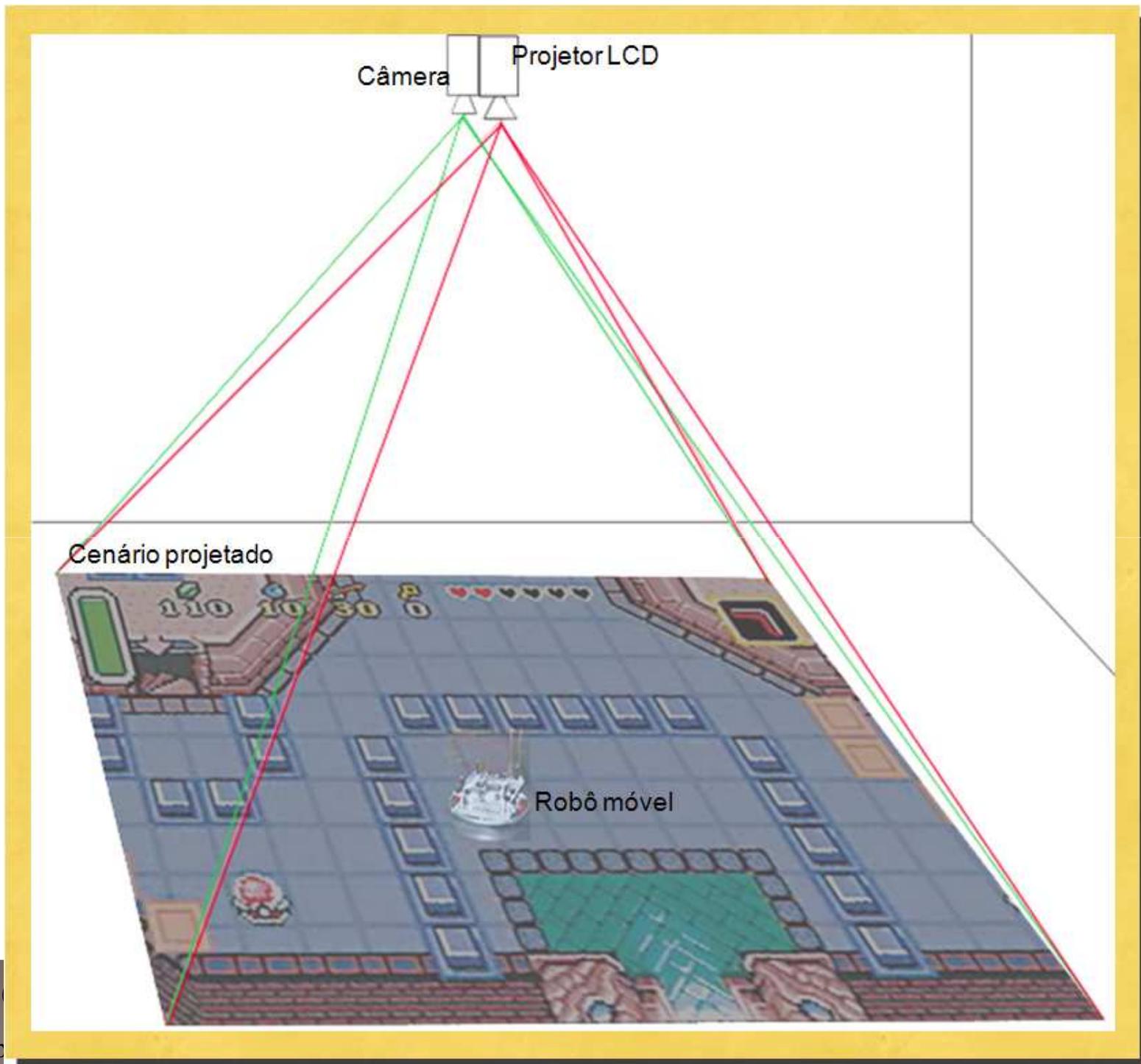
# Robôs Educativos: Everywhere Displays



# Robôs Educativos: Jogos de Aventura

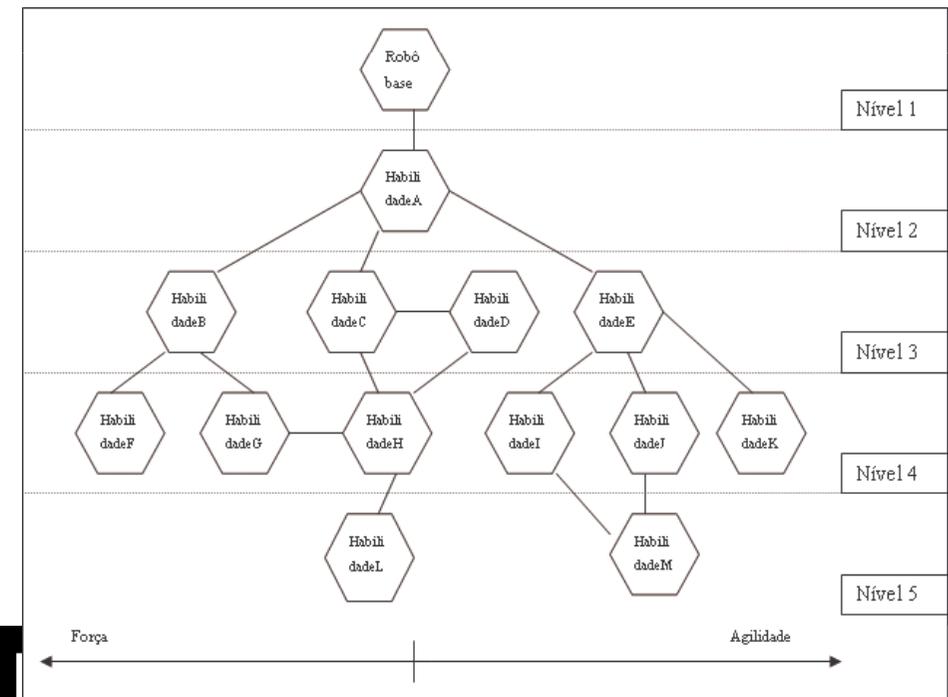
- Elementos
  - Mestre: cria a Aventura,
  - Jogador: conduz o personagem
- Ambientação
  - Desafios envolvendo:
    - fantasia medieval
    - ficção científica
    - quadrinhos
    - anime...





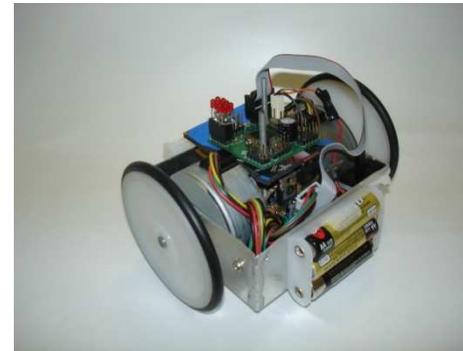
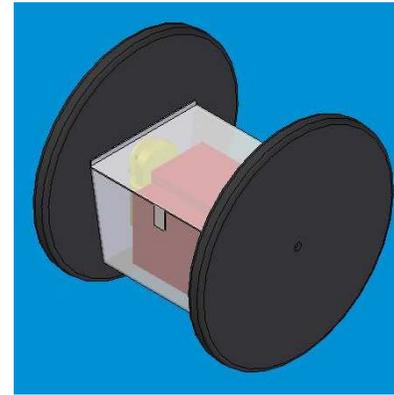
# Robôs Educativos: Especificação do Jogo

- Jogador assume o papel de um personagem robô
  - Conjunto básico de características
- Desafios → pontos de experiência
- Evolução do personagem:
  - Compra de habilidades e itens



# Robôs Educativos: Projeto do Robô

---



# Resultados



# Resultados



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

# Cadeira de Rodas Robótica

---

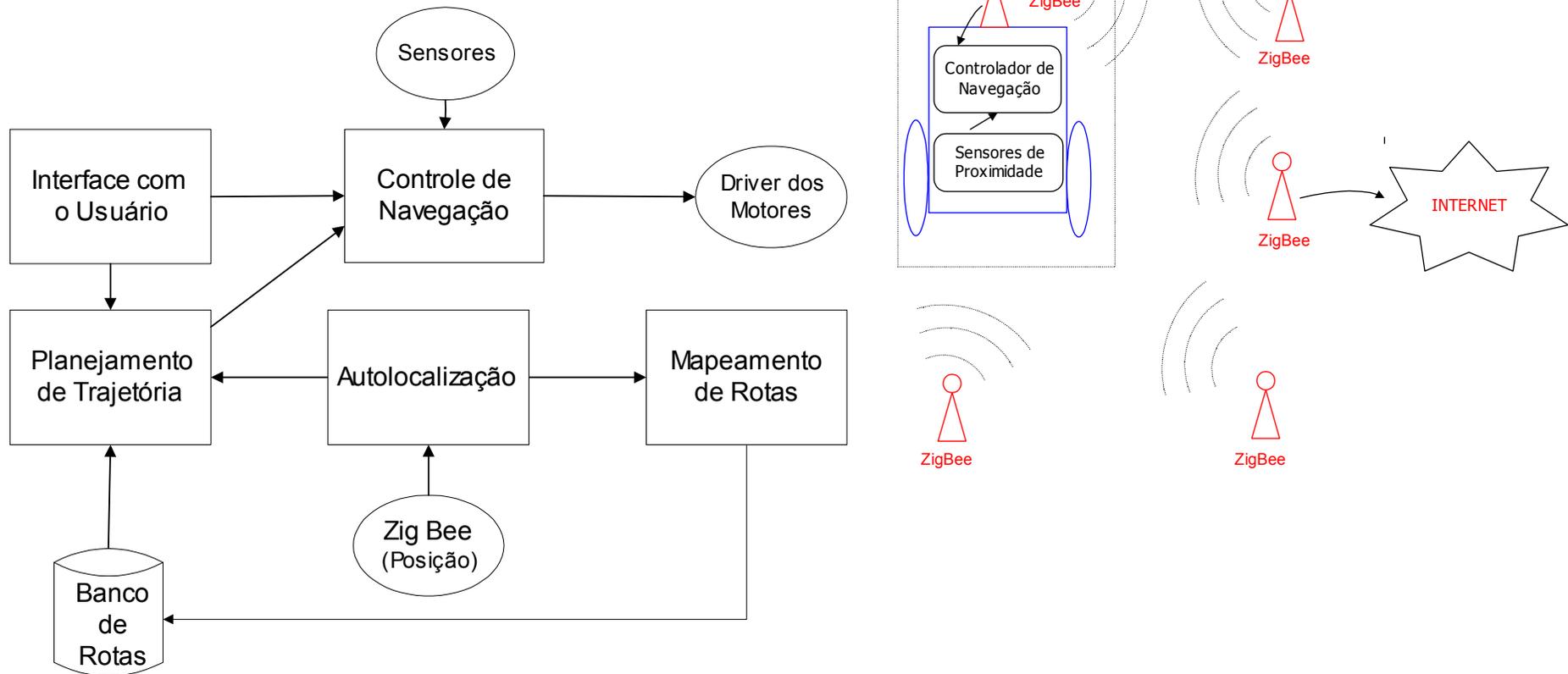


# Cadeira de Rodas Robótica: Características

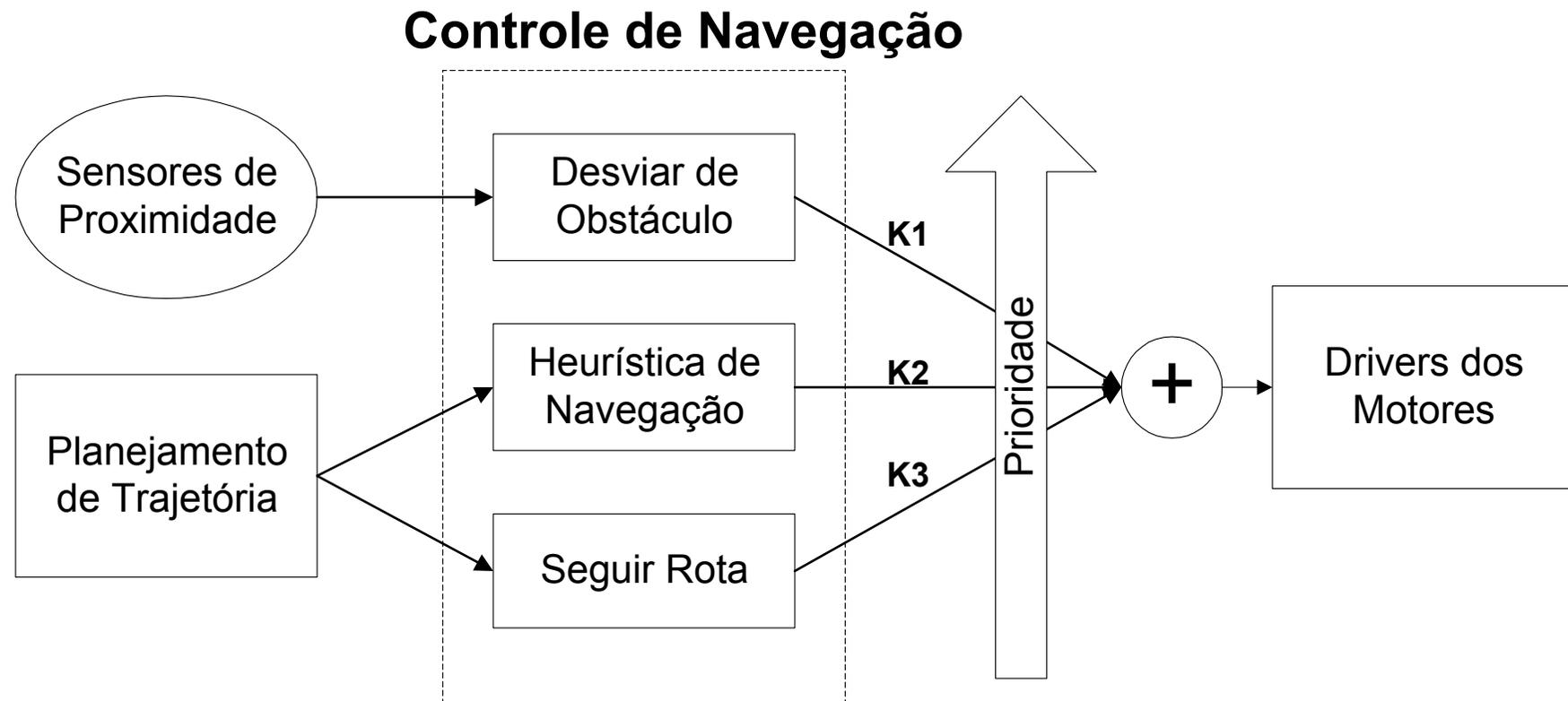
---

- Auxílio a mobilidade
  - Deixa as mãos livres e dispensa atenção
  - Ajuda a passar por portas e corredores
  - Dispensa acompanhante
- Monitoramento de condições do paciente
  - Conexão com clínicas para monitoramento:
    - Peso, frequência cardíaca, pressão sanguínea, mobilidade

# Cadeira de Rodas Robótica: Sistema



# Cadeira de Rodas Robótica: Controle



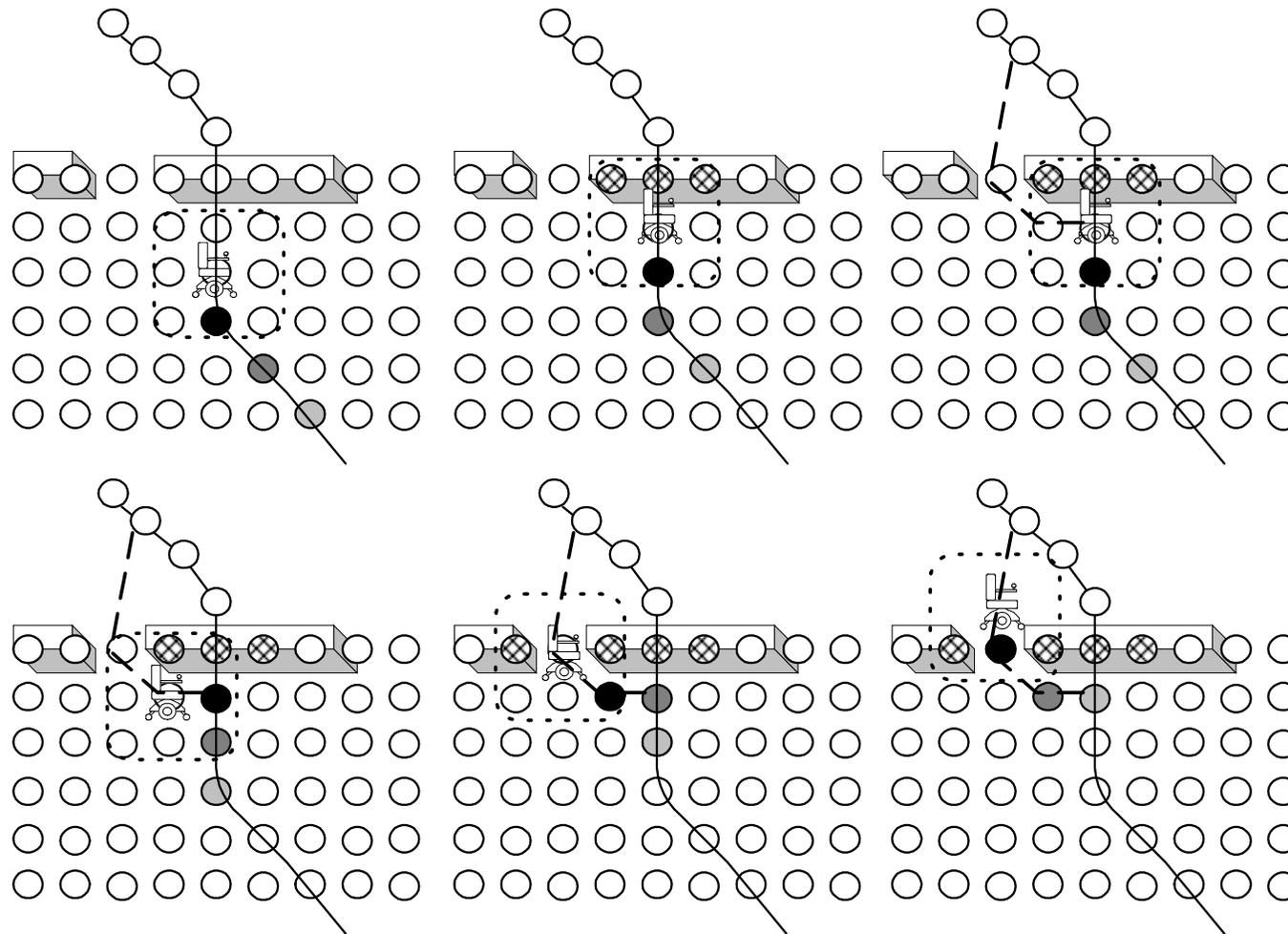
# Cadeira de Rodas Robótica: Especificação

---

- Manopla de controle
  - armazenar a sua trajetória como rota
- Seguir um conjunto de rotas de forma automática
- Gravar movimentos para execução automática
- Seleção de Destino
  - o usuário identifica um destino
  - o sistema se encarrega de gerar uma rota para alcançá-lo

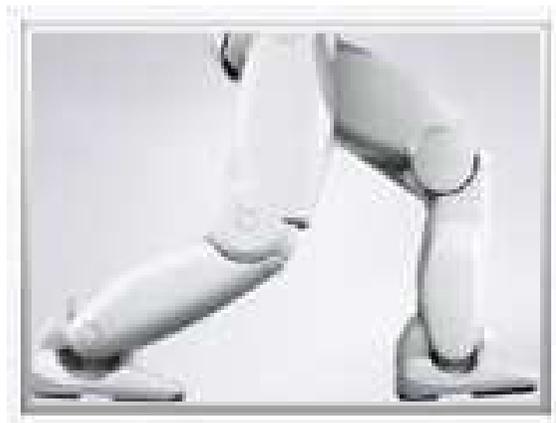


# Cadeira de Rodas Robótica: Navegação



# Robôs com Pernas

---



# Robôs com Pernas

Simulação Realística Virtual 3D

Robôs com Patas

Simulador **LEGEN**

Evolução do Controle (AG)  
de Robôs Articulados

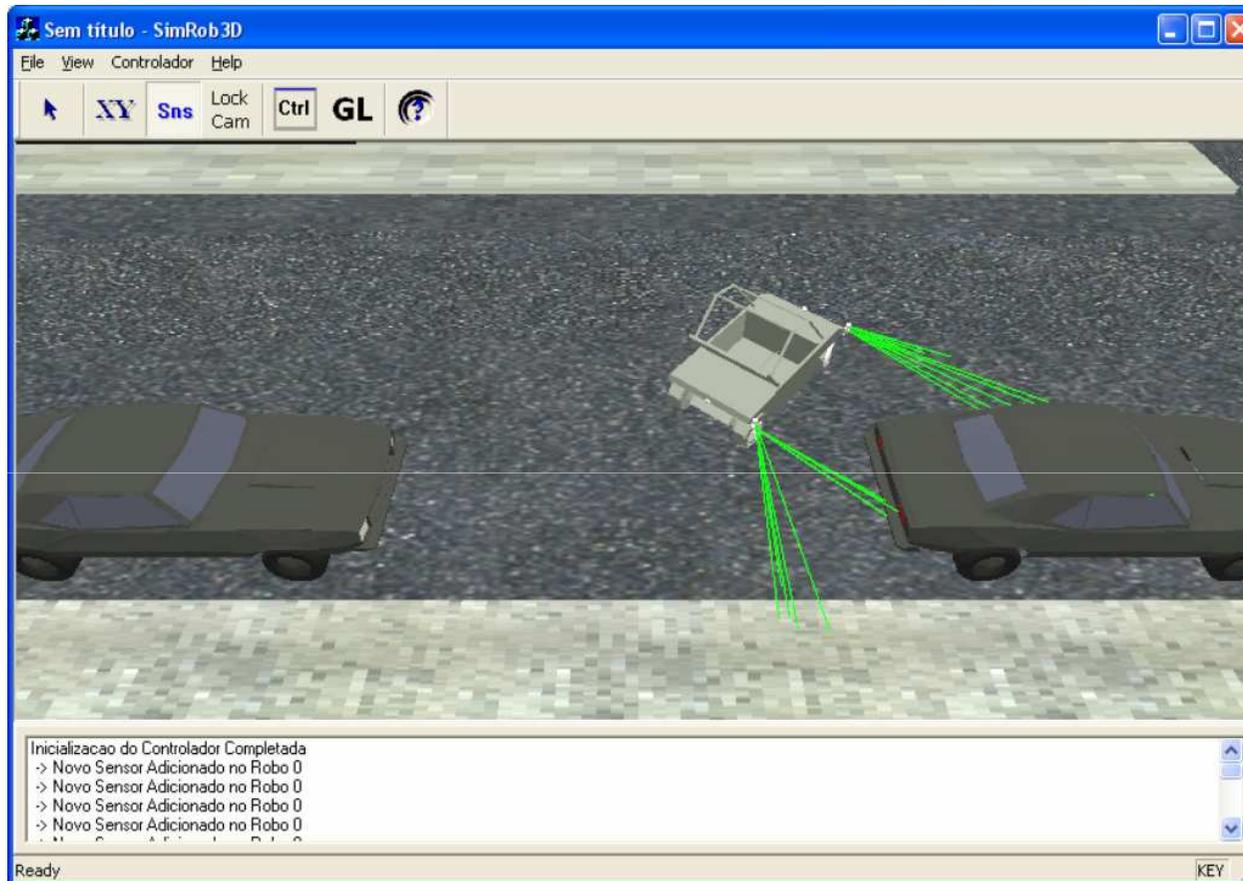


# Estacionamento Autônomo



# Veículos Autônomos: **Simulação de Estacionamento**

## SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D



Sensor [00]:	904.27
Sensor [01]:	475.65
Sensor [02]:	171.16
Sensor [03]:	108.89
Sensor [04]:	195.85
Speed:	-2.00
Steering wheel angle:	-32.50
State:	ENTERING
Odometer:	520.00

Sensores: Sonar (configurável pelo usuário) e Odômetro

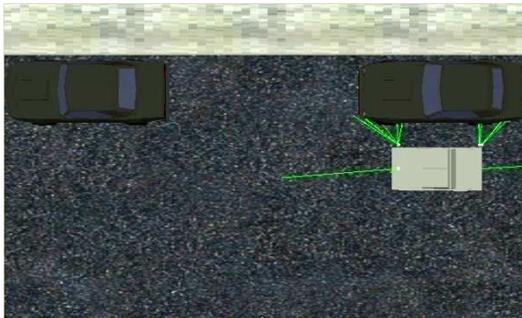
Atuadores: Cinemática Ackerman

Usual: 6 sonares com posições específicas, odômetro, controle de velocidade e de giro da direção

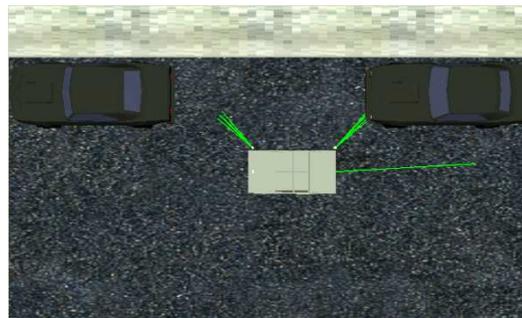
# Veículos Autônomos: Simulação de Estacionamento

SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D

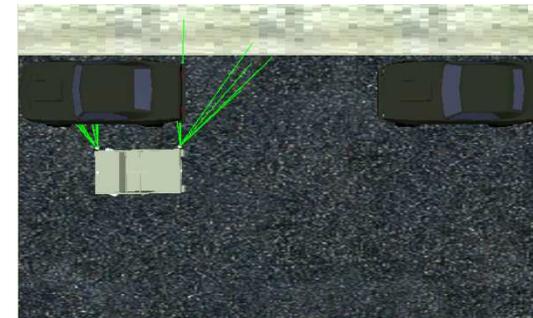
Aprendizado de um autômato (FSA) usando uma Rede Neural Artificial



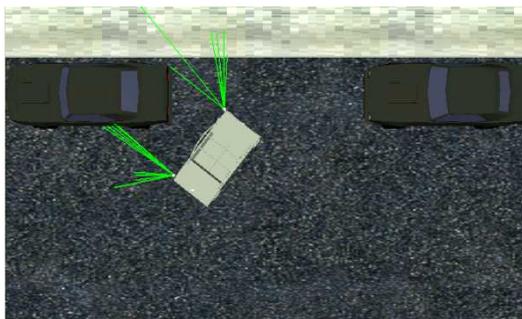
Searching Parking Space



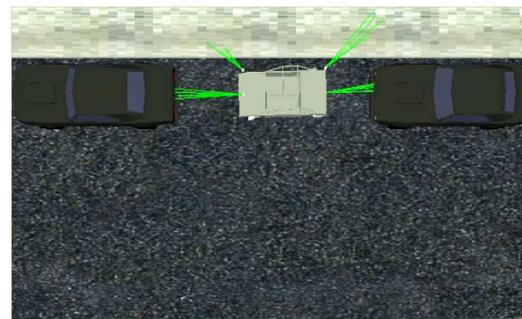
Positioning Outside



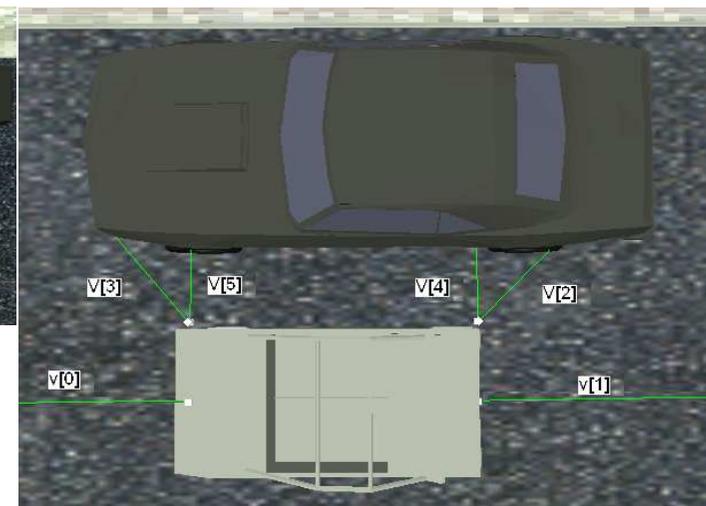
Entering



Positioning Inside



Aligning



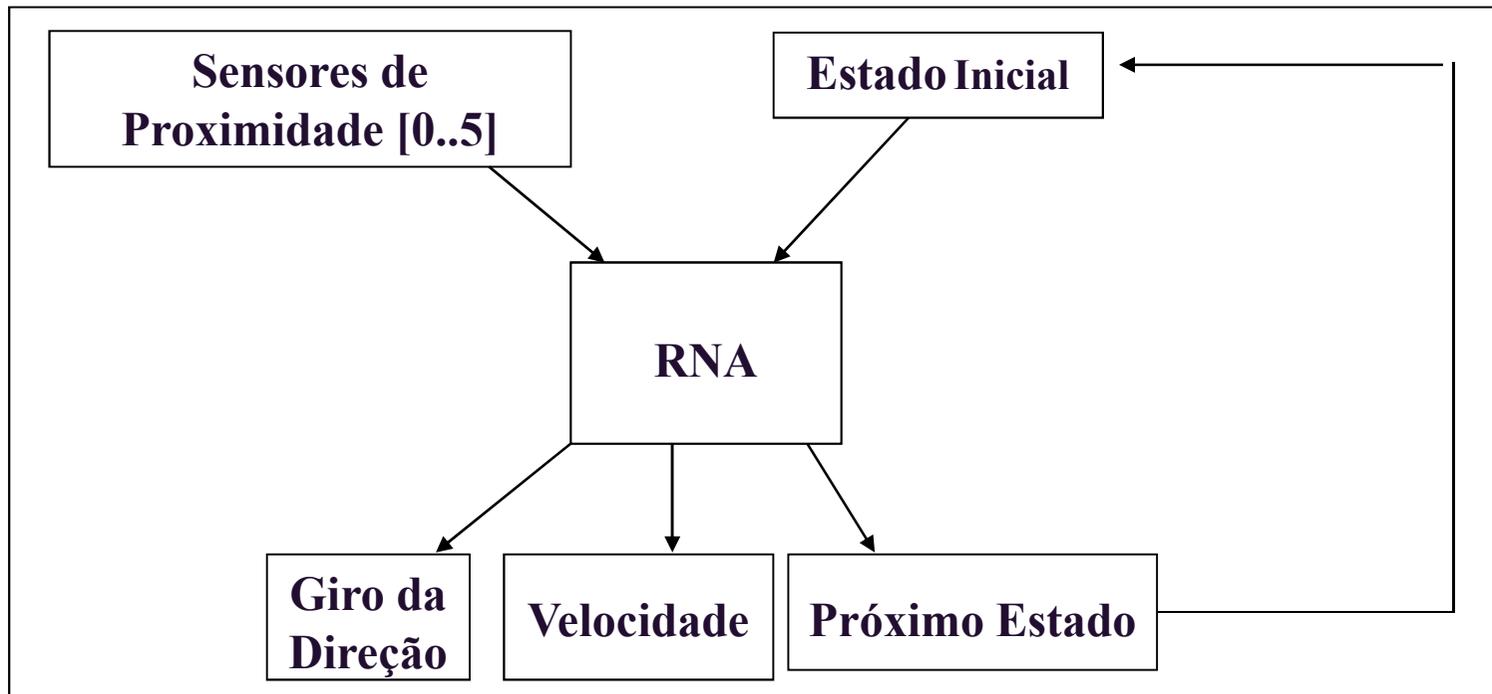
Sensores: Sonar (configurável pelo usuário) e Odômetro  
Atuadores: Cinemática Ackerman (velocidade e giro da direção)

# Veículos Autônomos: **Simulação de Estacionamento**

Atributos de entrada da rede: seis sensores e uma indicação do estado atual (FSA)

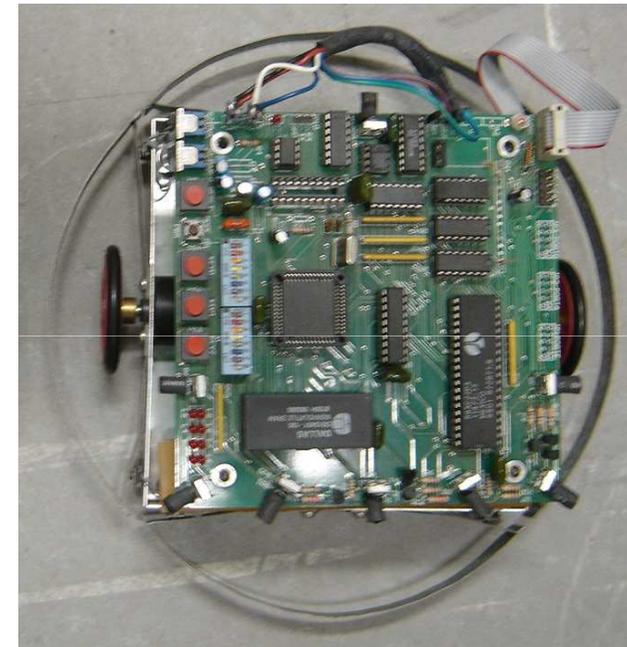
Valores de saída da rede neural: estado dos atuadores (velocidade e direcionamento), indicação do próximo estado do processo de estacionamento

Aprendizado: Exemplos de uma pessoa controlando o estacionamento do veículo



# Veículos Terrestres Autônomos

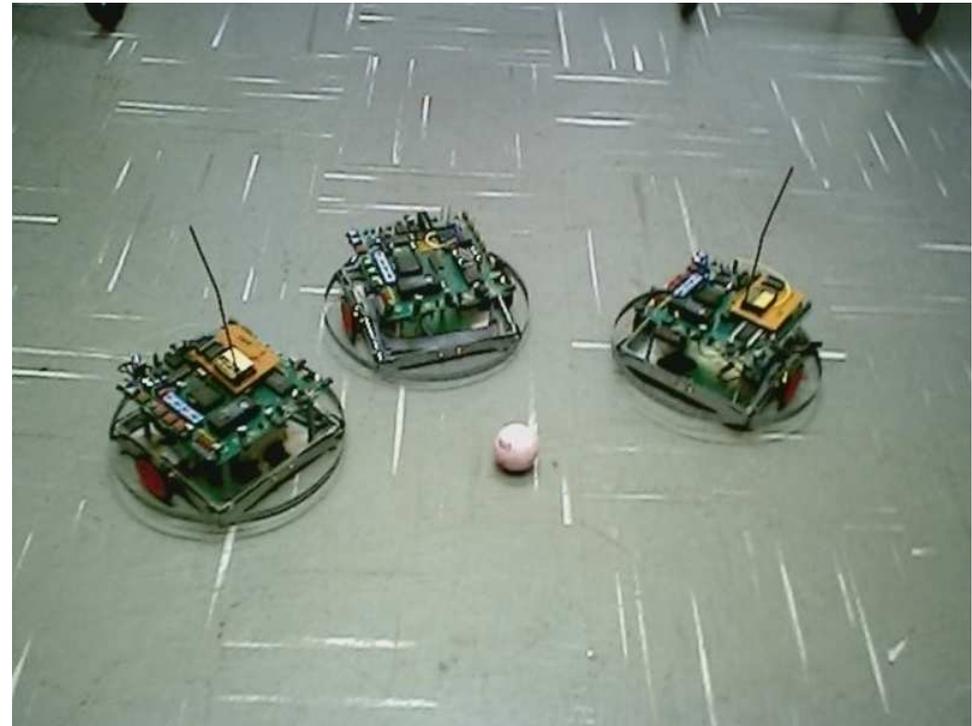
- Robôs Móveis Táticos:
  - Enxames
  - Robombeiros



# Enxames Robóticos

---

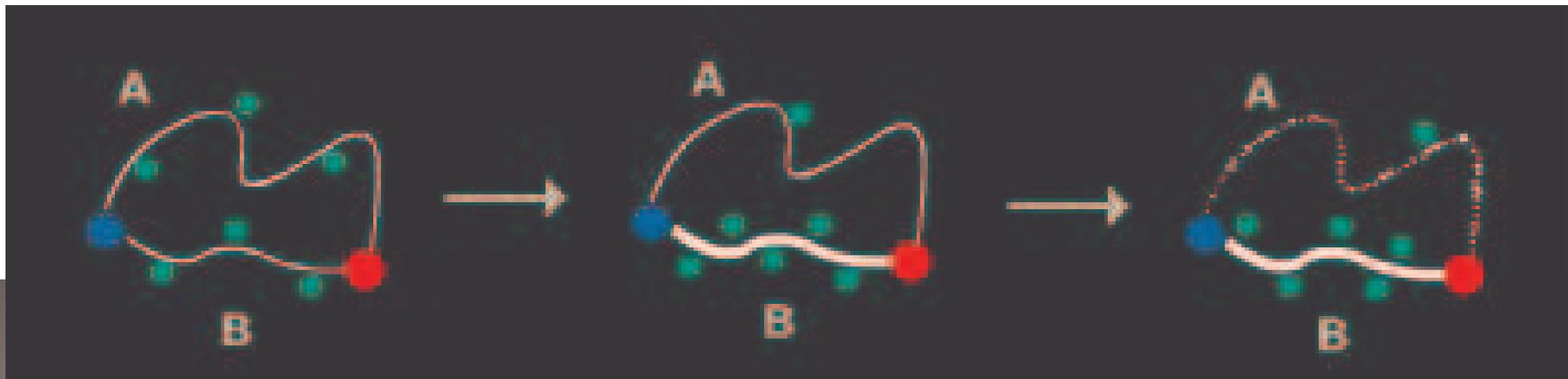
- Características:
  - Escalabilidade
  - Descentralização
  - Sem conhecimento global do ambiente



# Enxames Robóticas: Formigas

---

- Comportamento coletivo inteligente emergente a partir de uma colônia de indivíduos simples
- Expressão de comportamento coletivo complexo:
  - carregar grandes objetos
  - formar pontes
  - encontrar o menor caminho



# Enxames Robóticos: Conceitos

---

- Sistema Multiagente + Algoritmo Genético
  - Um único indivíduos não tem conhecimento global da tarefa que está realizando.
  - Ações individuais são baseadas em decisões locais
  - Comportamento inteligente emerge naturalmente
    - consequência da auto-organização
    - comunicação indireta entre os indivíduos

# Enxames Robóticas: Colônias de Insetos

---

**Transporte Cooperativo:**

**C. Kube e H. Zhang  
University of Alberta**



# Enxames Robóticos: Inteligência de Enxames

---

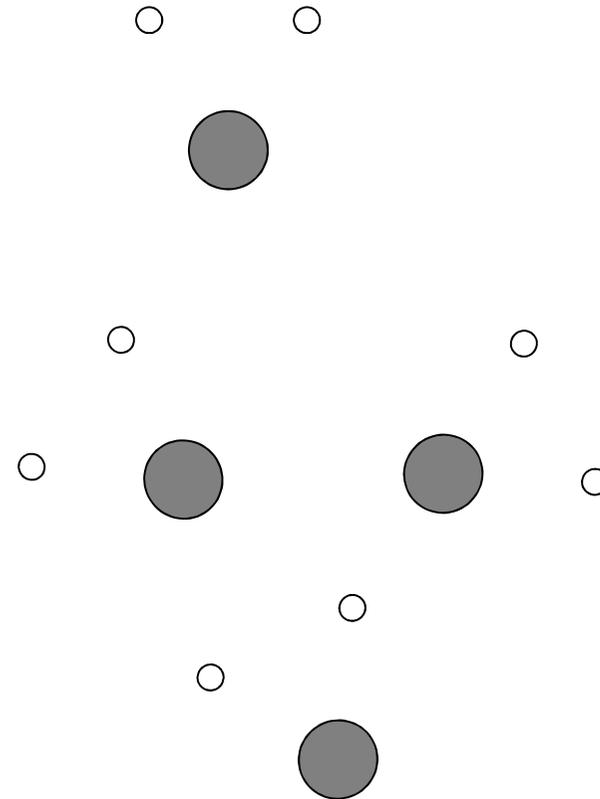
- Um Enxame é um conjunto de Agentes que se comunicam (direta ou indiretamente)
- Coletivamente resolvem um problema



# Enxames Robóticos: Propriedades

---

- Antenas:
  - perceber a concentração de feromônios em cada lado
  - detectar colisões contra paredes
- Corpo:
  - centro de processamento



# Enxames Robóticos: Comportamentos

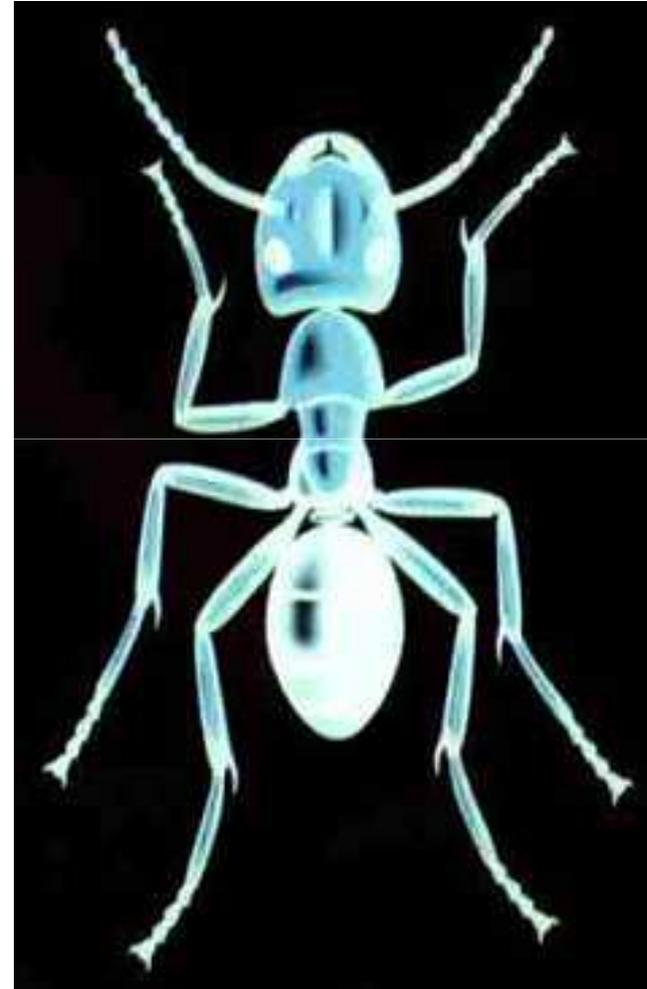
---

## -Estados

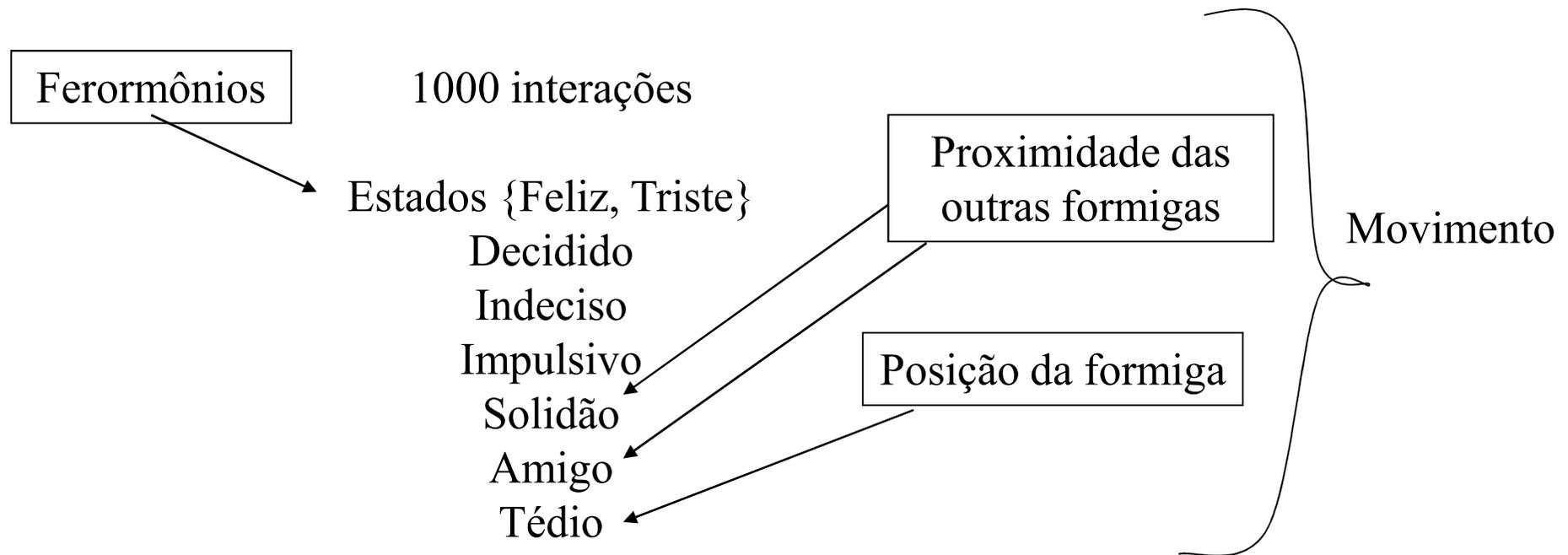
- >Feliz
- >Triste

## -Funções

- >Solidão
- >Tédio
- >Decidido
- >Indeciso
- >Amigo
- >Impulsivo

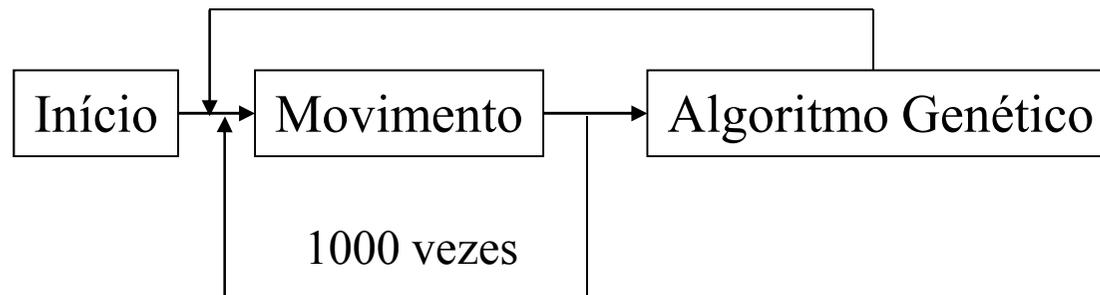
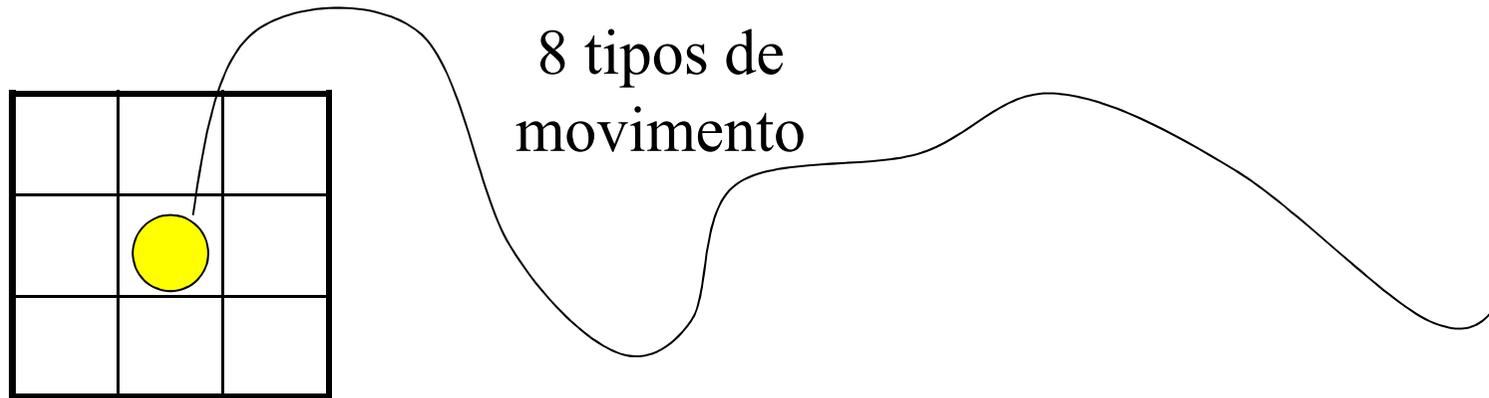


# Enxames Robóticos: Execução



# Enxames Robóticos: Movimentação

---

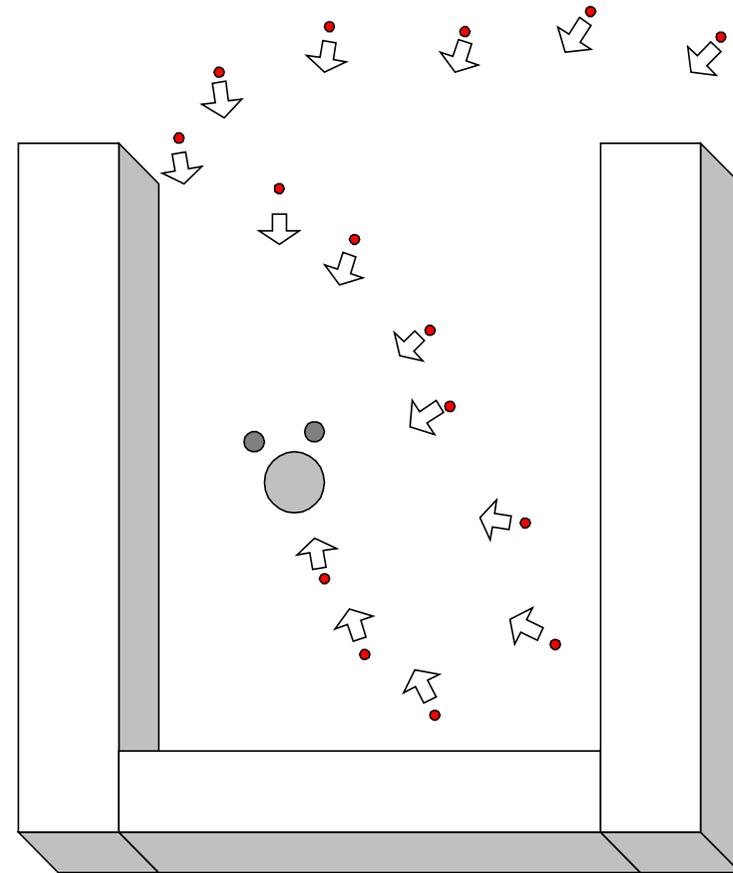


# Enxames Robóticos: Resultados

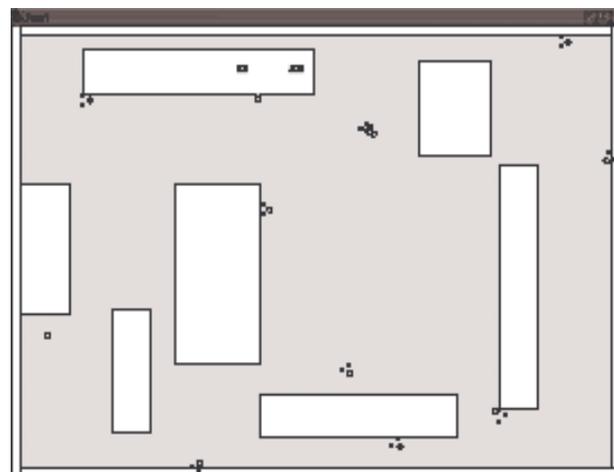
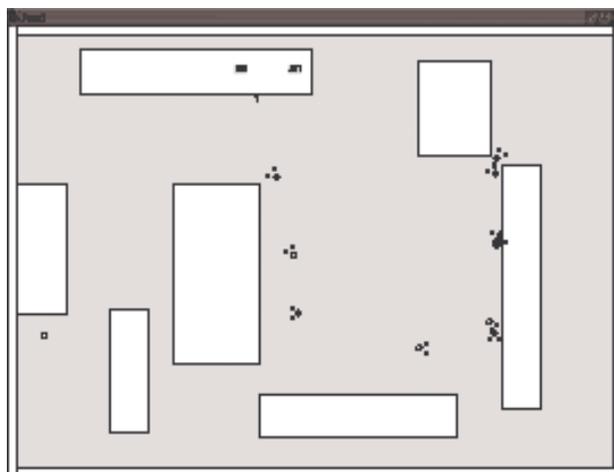
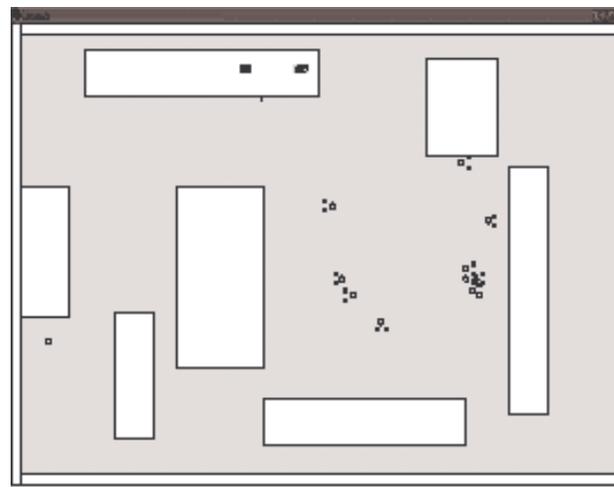
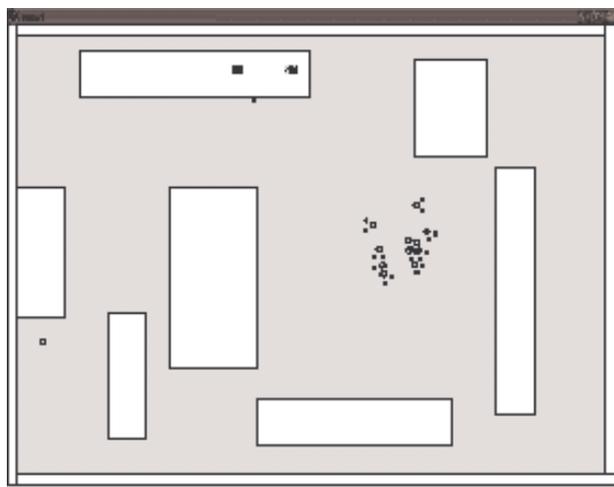


# Enxames Robóticos: Resultados

- evaporação de feromônios
- feromônios na saída do tubo diminuem
- feromônios aumentam dentro do local cada vez mais



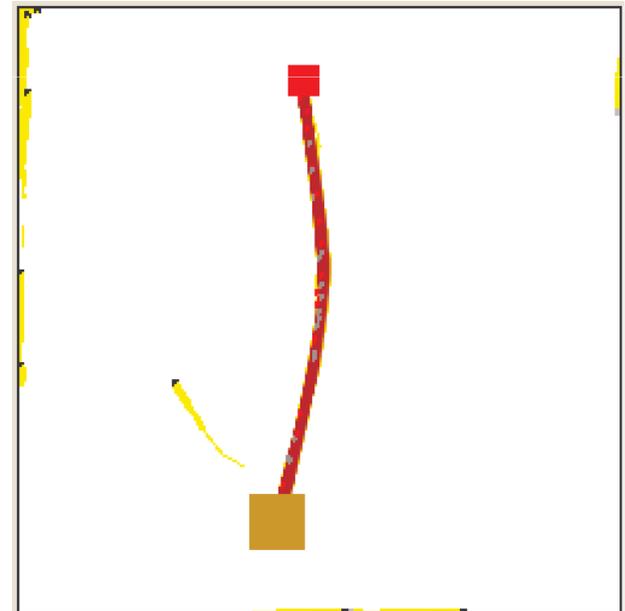
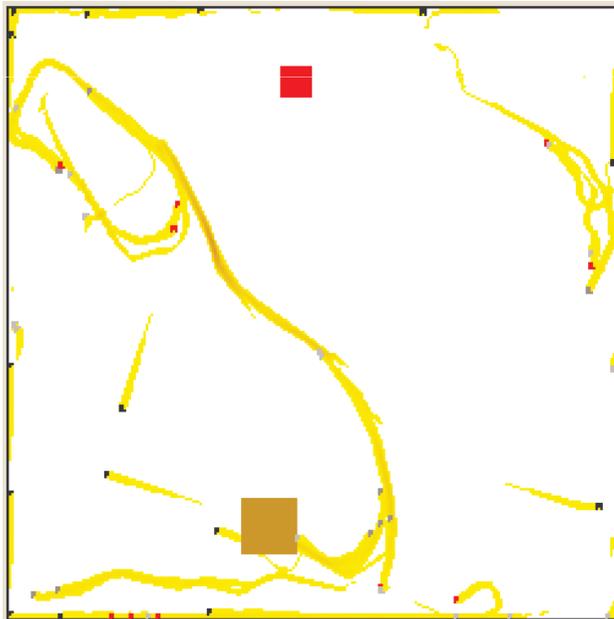
# Enxames Robóticos: Aplicações



# Enxames Robóticos: Aplicações

---

- Exploração e procura por objetos
- Formação de caminhos entre objeto e “ninho”
- Otimização dos caminhos



# Enxames Robóticas: Controle



CSBC 2009 - JAI

# 47 Aplicações

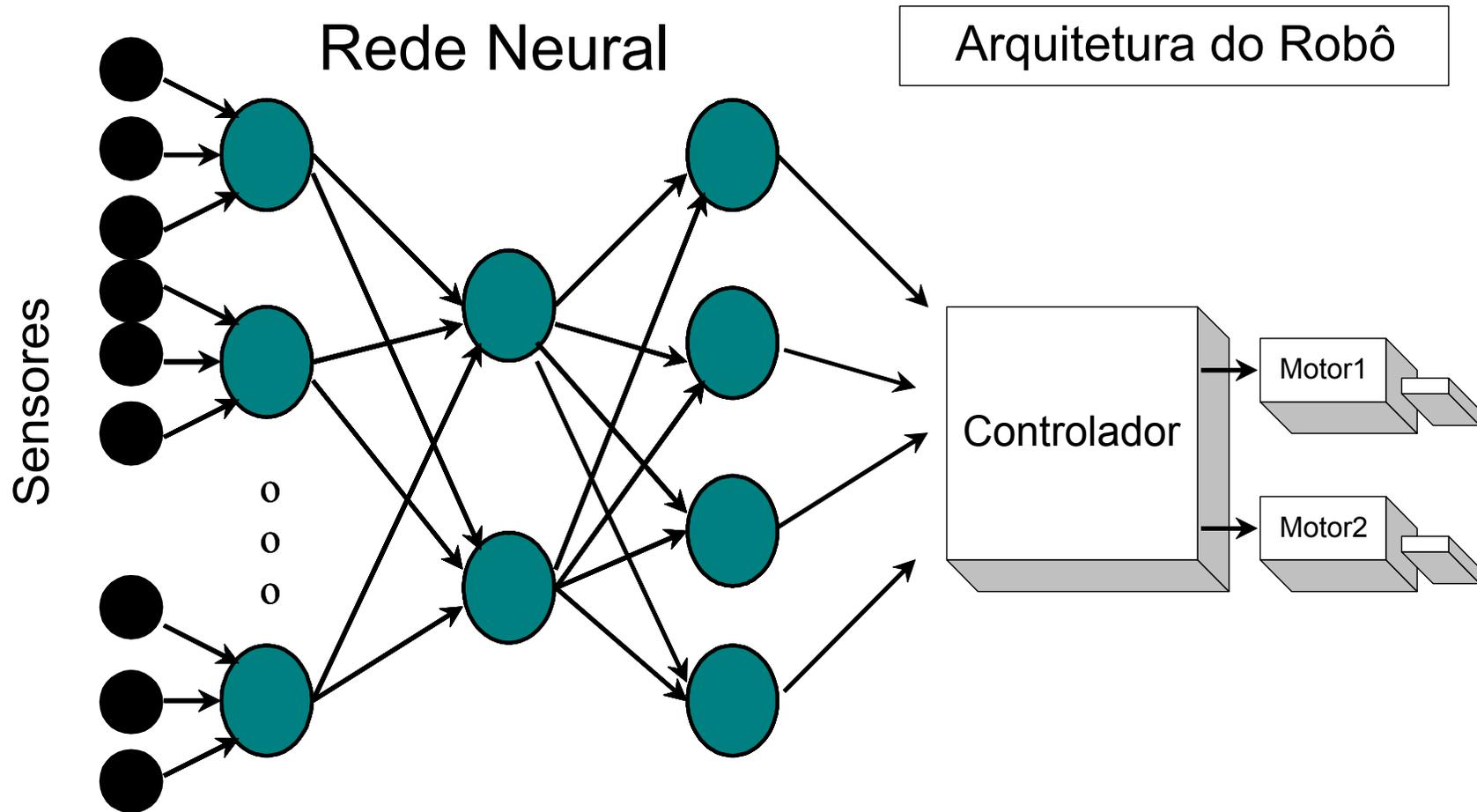


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

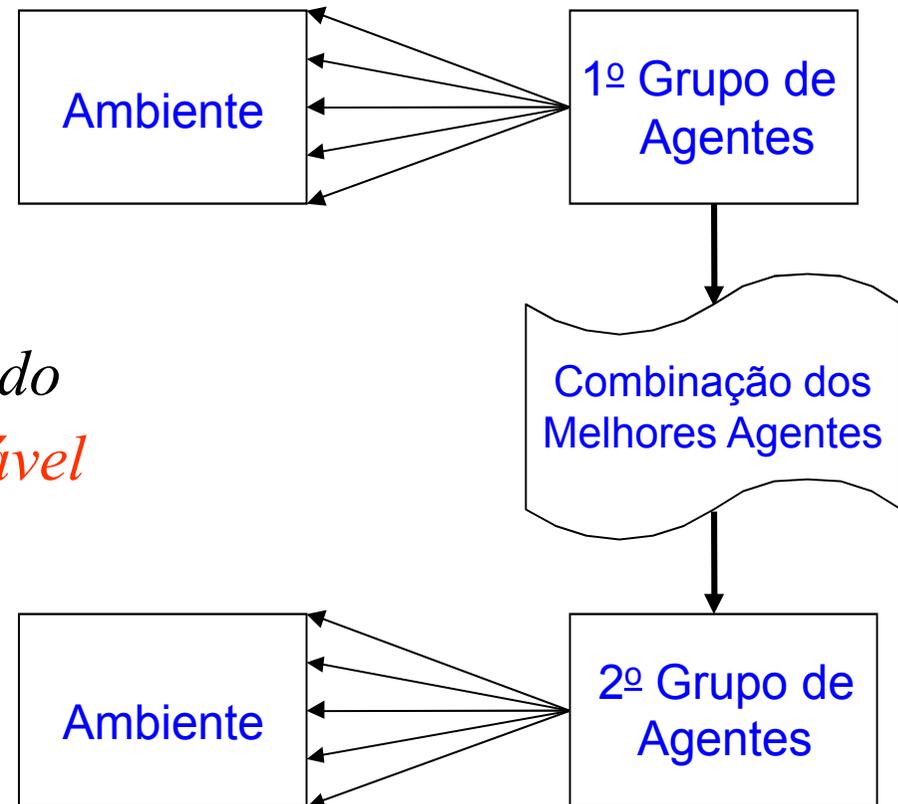
# Enxames Robóticas: Controle



# Enxames Robóticos: Controle

## ■ Computação Evolutiva

→ *Teste de um critério definido até que um **desempenho aceitável** seja produzido.*



# Enxames Robóticos: Controle

---

- Computação Evolutiva:

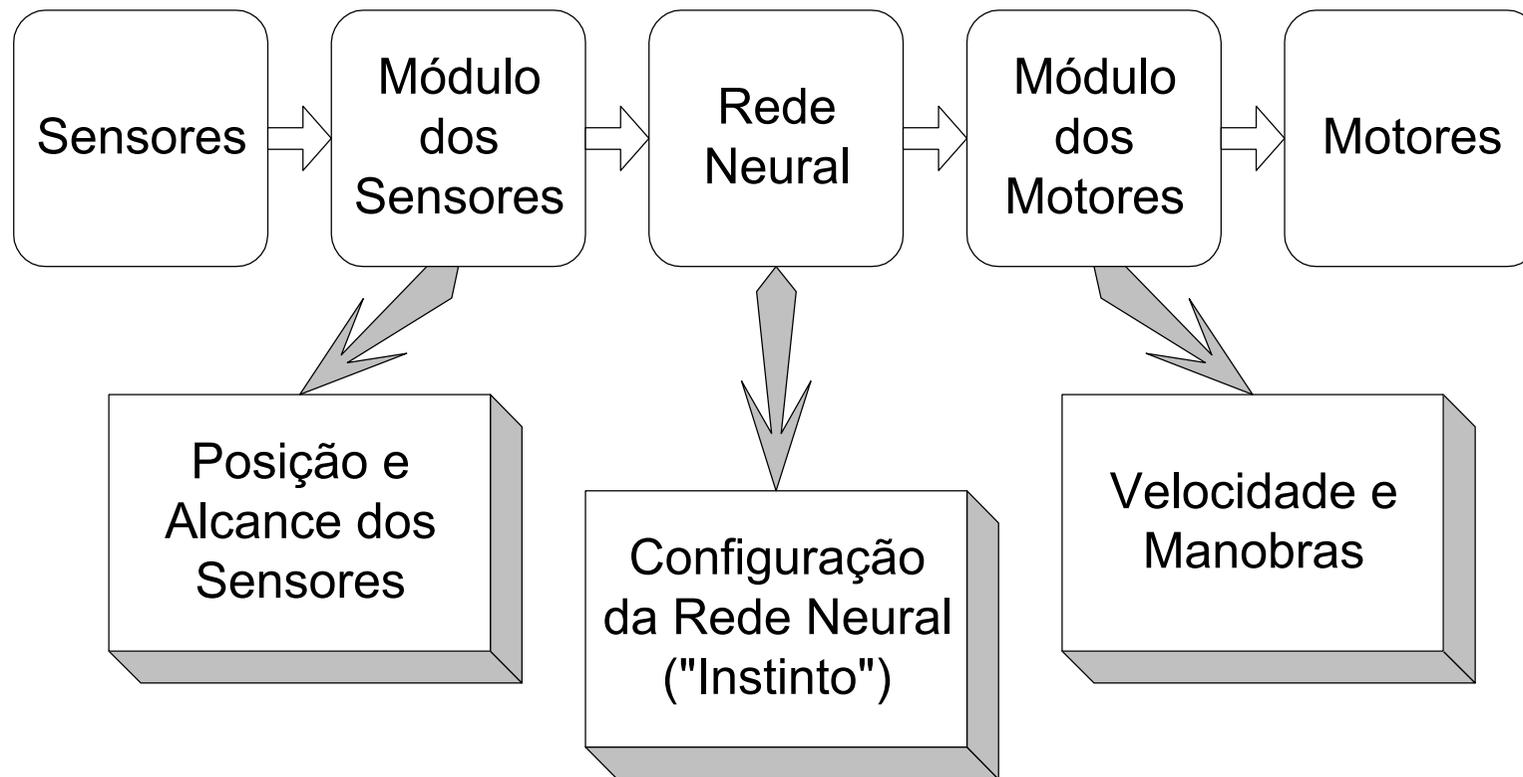
→ Uma *Seleção Natural Artificial* dos mais adequados agentes ou soluções

- Premissa mais importante:

→ Especificar *o que* é desejado do robô, sem definir *como* ele deve fazer para obter o comportamento desejado

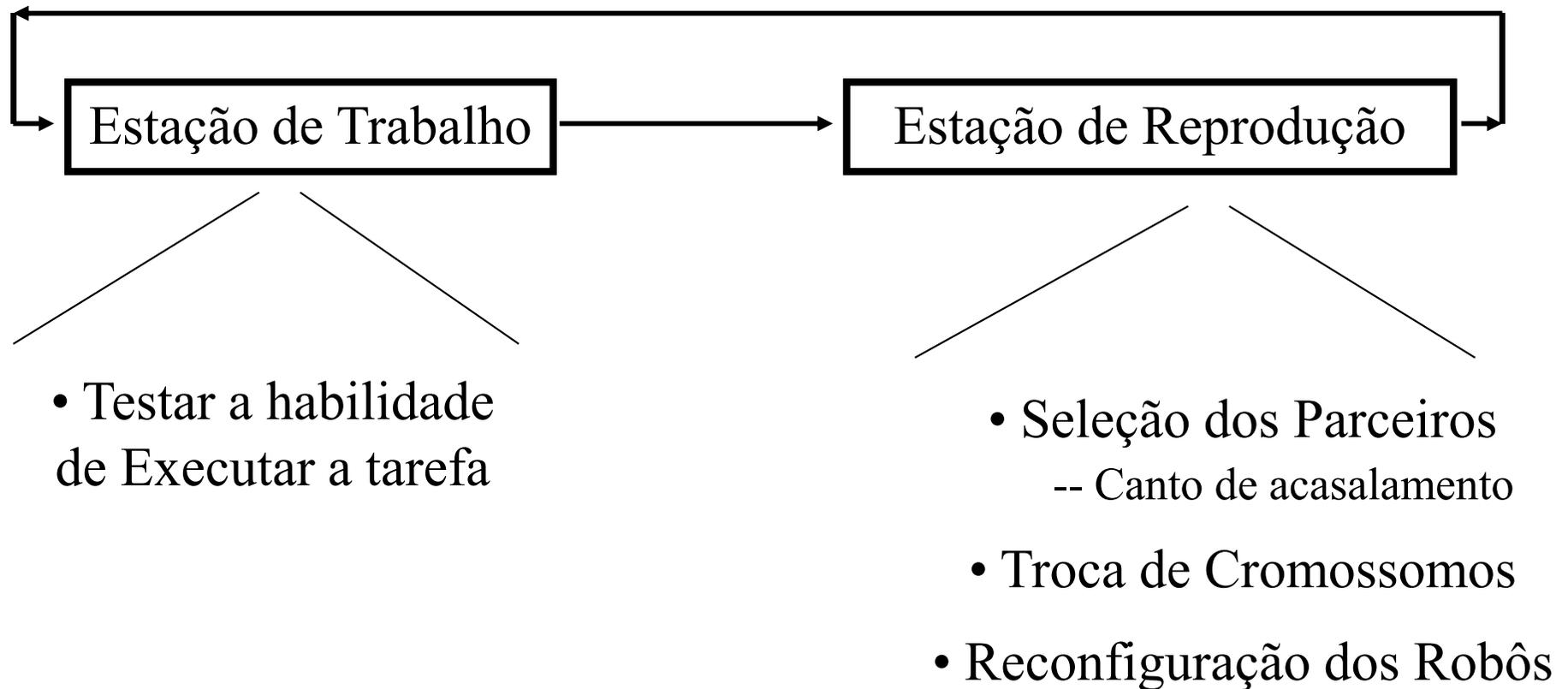
# Enxames Robóticos: Controle

## ■ Arquitetura do Robô



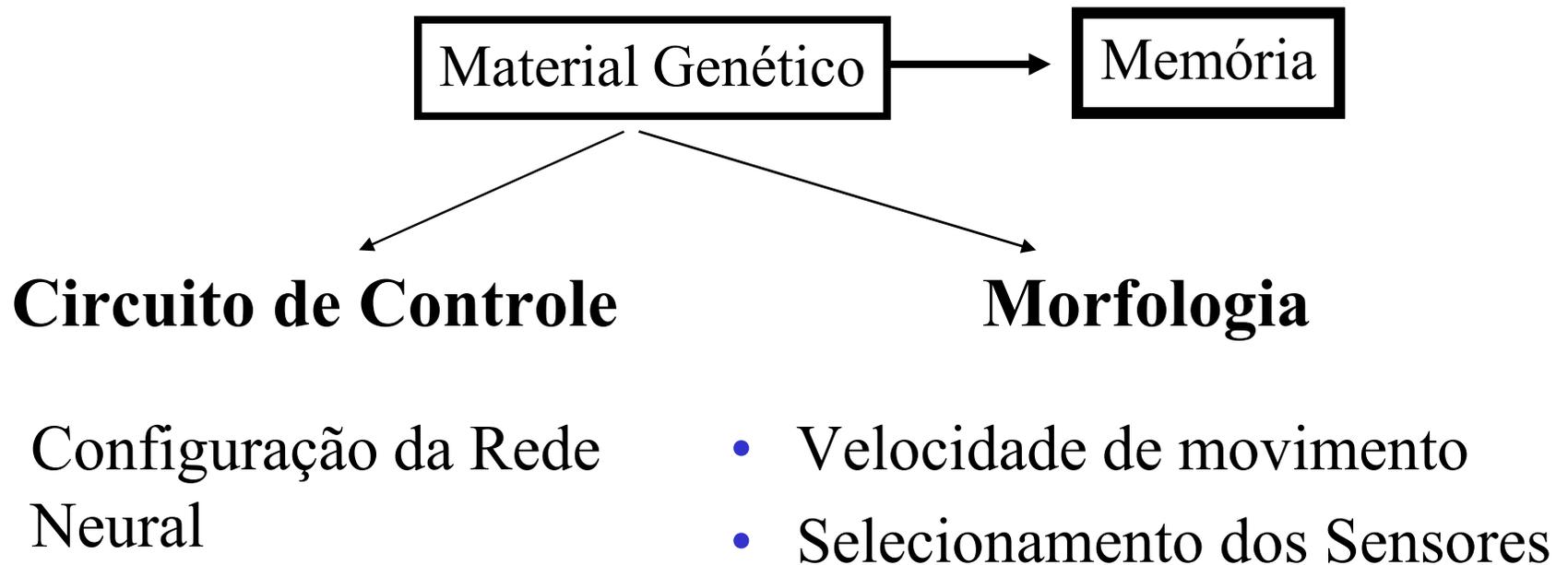
# Enxames Robóticos: Controle

## Processo Evolutivo:

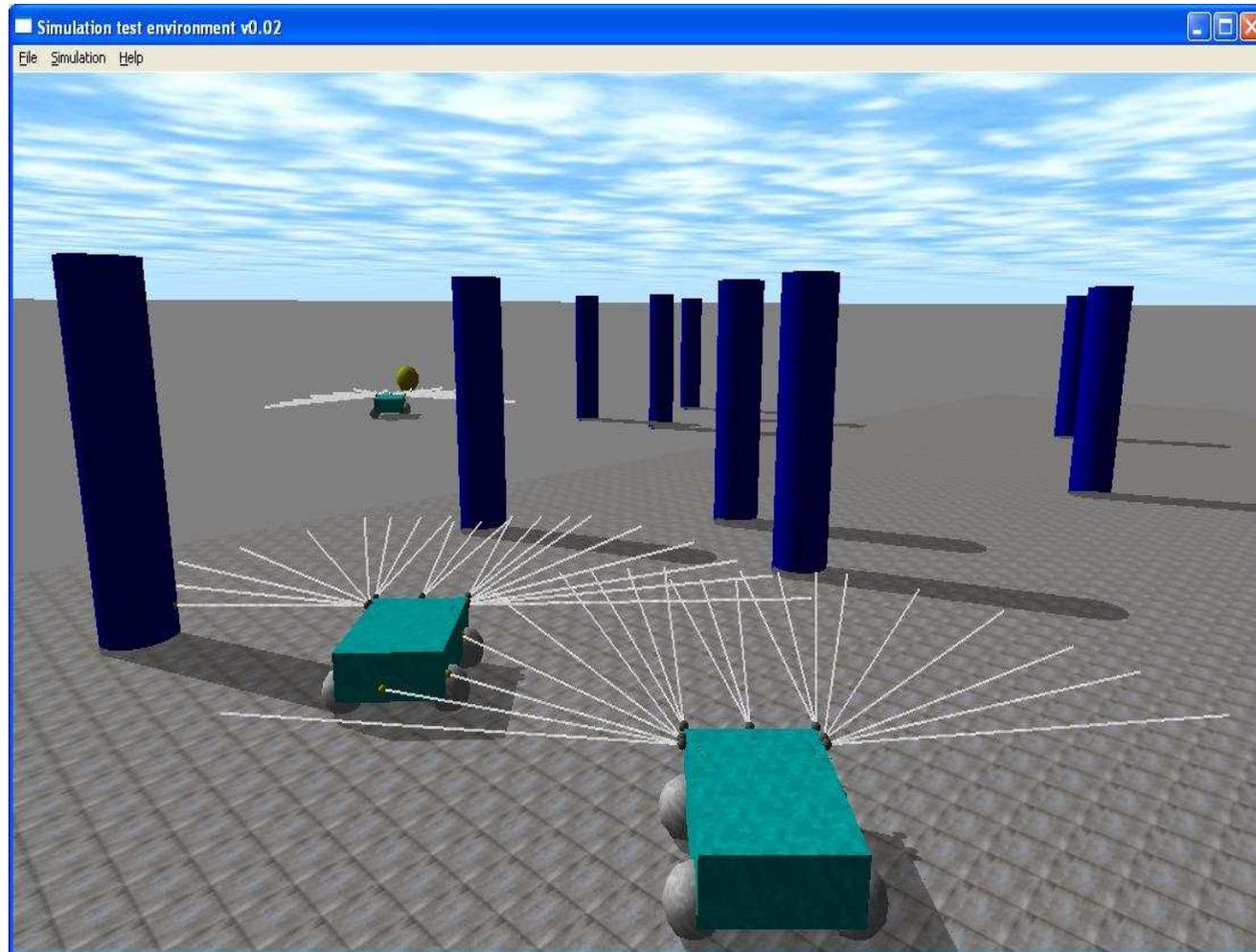


# Enxames Robóticos: Controle

---



# Robombeiros



# Esquadrão Robótico: **Simulação**

## *Robótica Autônoma - Controle Inteligente Multirobôs*

RoBombeiros – Simulador Robôs para Combate à Incêndios

### Objetivo:

Criar um ESQUADRÃO de ROBOS AUTÔNOMOS para o COMBATE COORDENADO A INCÊNDIOS em AMBIENTES FLORESTAIS

SIMULAÇÃO REALISTA:

Ambiente de Realidade Virtual + Física



Simulação Física usando a ODE



# Esquadrão Robótico: **Simulação**

## Navegação com desvio de obstáculos

### **Navegação: Direcionamento + Desvio de Obstáculos**

**DIRECIONAMENTO GLOBAL (Posição + Bússola)**

**NAVEGAÇÃO LOCAL (Desvio)**



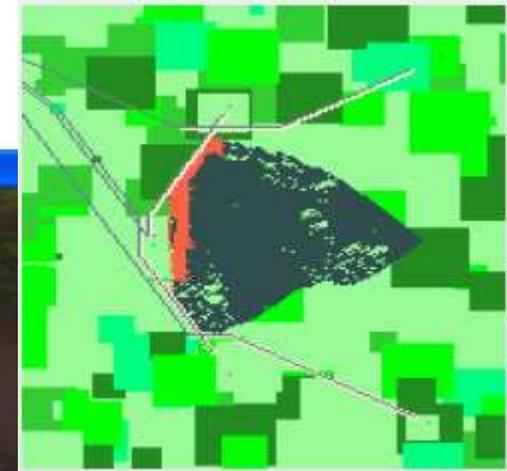
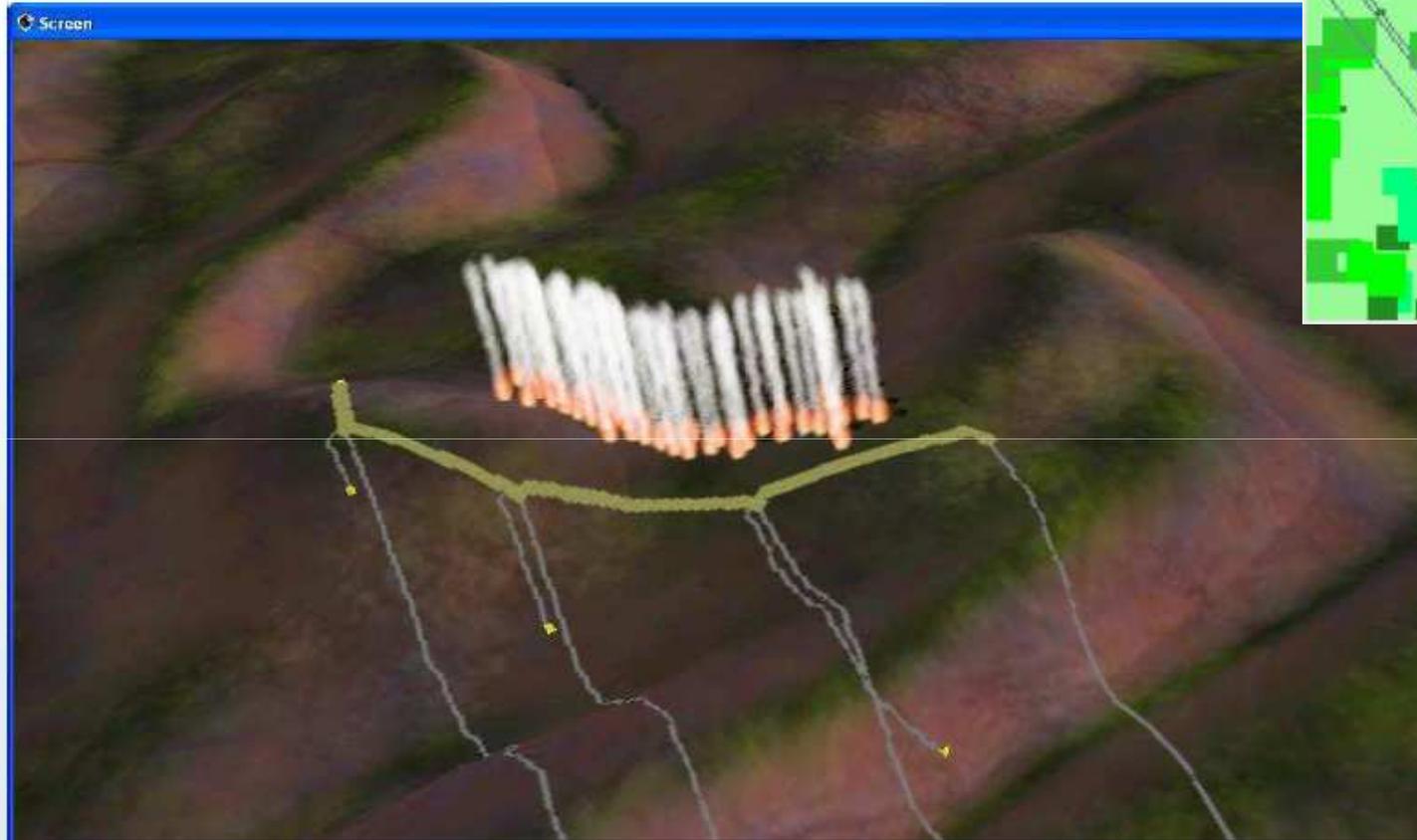
Robombeiros:

- Navegação com obstáculos esparsos
- Desvio local
- Conhecimento:
  - Posição do Robô
  - Posição do Alvo
  - Direção
- Método usado: RNA (Machine Learning)

# Esquadrão Robótico: **Simulação**

## **Aprendizado de Estratégias:**

- **Objetivo: Cercar e Barrar o Incêndio**



**Estratégia:**  
Definida pelo  
Algoritmo  
Genético

**Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: Robombeiros**

**Planejamento de Trajetórias – Otimização usando ALGORITMOS GENÉTICOS - GA**

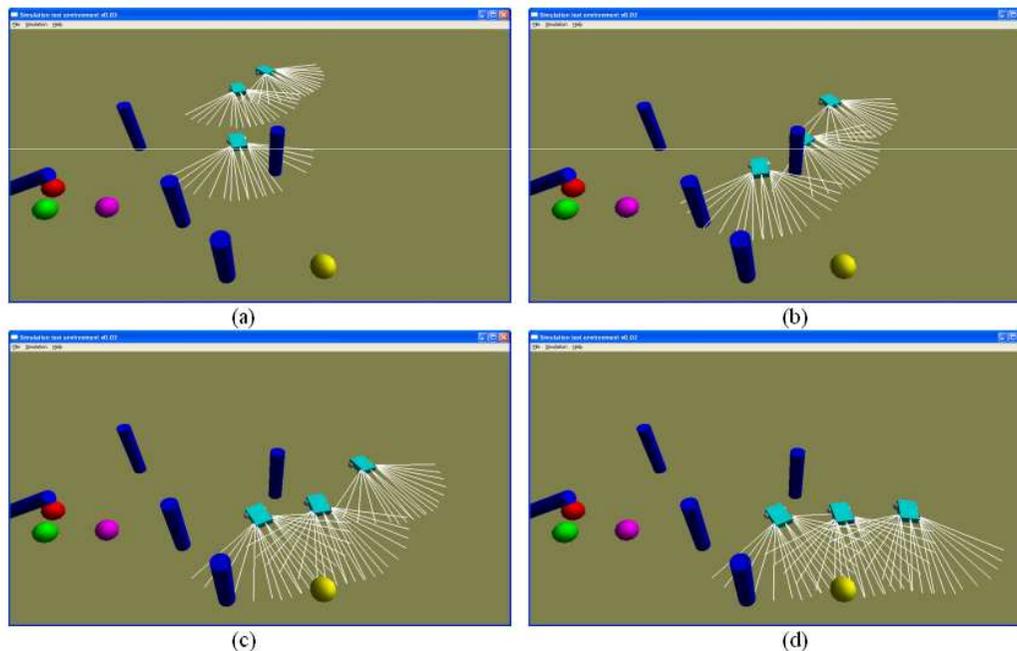
# Esquadrão Robótico: **Simulação**

## *Robótica Autônoma - Controle Inteligente Multirobôs*

RoBombeiros :

### **Navegação e Desvio de Obstáculos**

- *Aprendizado usando Redes Neurais Artificiais*
- *GPS: Posição Atual, Posição de Destino, Orientação*
- *Navegação: Uso da Orientação e dos Sensores*



Seqüências de uma simulação com navegação e desvio satisfatórios

RoBombeiros :

### **Controle dos Robôs**

*Simulação Física usando a ODE*

- *Simulação da Cinemática (steering)*
- *Simulação da Dinâmica (aceleração, inércia, colisões)*

# Esquadrão Robótico: **Simulação**

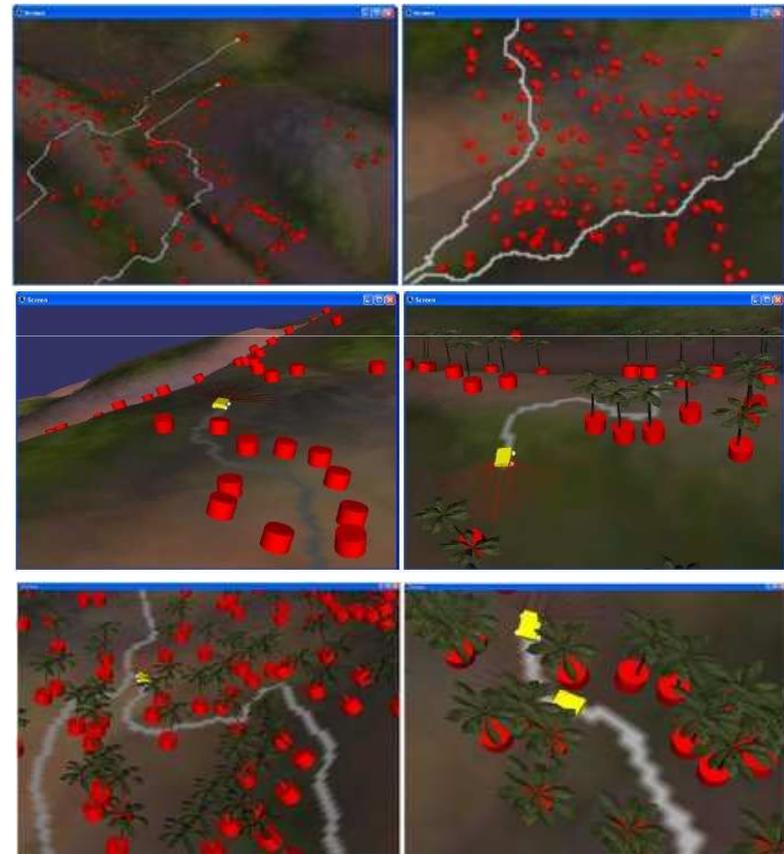
*Robótica Autônoma: AÇÕES TÁTICAS*

*Esquadrão de Combate a Incêndios*

RoBombeiros – Simulador Robôs para Combate à Incêndios

## SIMULAÇÃO:

- Ambiente Virtual 3D
- Simulação da Cinemática e Dinâmica
- Simulação Física
- Planejamento da Estratégia de Combate ao Incêndio (Pontos de Ataque)
- Otimização da Estratégia Coordenada usando Algoritmos Genéticos
- Navegação e Desvio de Obstáculos usando Aprendizado Neural



# Veículos Aéreos Não Tripulados

---

- Projeto  
ARARA



# INCT-SEC: Veículo Aéreo Autônomo

VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados

LRM – ICMC – USP / INCT-SEC



YouTube: Search AGPLANE - MEMBECA 2008

AGPlane  
AGX Tecnologia

Projeto  
ARARA

CSBC 2009 - JAI

# 61 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT** SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

# Perspectivas da Robótica Móvel

---

“Será a Vida Artificial possível?”



# OBRIGADO!

---



# LRM

*Laboratório de Robótica Móvel*

[Http://www.icmc.usp.br/~lrm](http://www.icmc.usp.br/~lrm)

<b>Denis Fernando Wolf</b>	– <a href="mailto:denis@icmc.usp.br">denis@icmc.usp.br</a>	<a href="http://www.icmc.usp.br/~denis">Http://www.icmc.usp.br/~denis</a>
<b>Eduardo do Valle Simões</b>	– <a href="mailto:simoes@icmc.usp.br">simoes@icmc.usp.br</a>	<a href="http://www.icmc.usp.br/~simoes">Http://www.icmc.usp.br/~simoes</a>
<b>Fernando Santos Osório</b>	- <a href="mailto:fosorio@icmc.usp.br">fosorio@icmc.usp.br</a>	<a href="http://www.icmc.usp.br/~osorio">Http://www.icmc.usp.br/~osorio</a>
<b>Onofre Trindade Junior</b>	- <a href="mailto:otjunior@icmc.usp.br">otjunior@icmc.usp.br</a>	