



## **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



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



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

## Módulo 3: Aplicações

### Conceitos:

- Veículos Terrestres Autônomos
  - Robôs com aplicações Cívicas  
(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

CSBC 2009 - JAI  
# 3 Aplicações



INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Veículos Terrestres Autônomos

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



CSBC 2009 - JAI  
# 4 Aplicações



INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Projeto SENA



CSBC 2009 - JAI  
# 5 Aplicações



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



CSBC 2009 - JAI  
# 6 Aplicações



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

## INCT-SEC: Veículo Terrestre Autônomo

Navegação assistida para veículos terrestres



Deteção de Obstáculos e de Pedestres

Sensores:

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

Alerta em Situações de Perigo

CSBC 2009 - JAI  
# 7 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

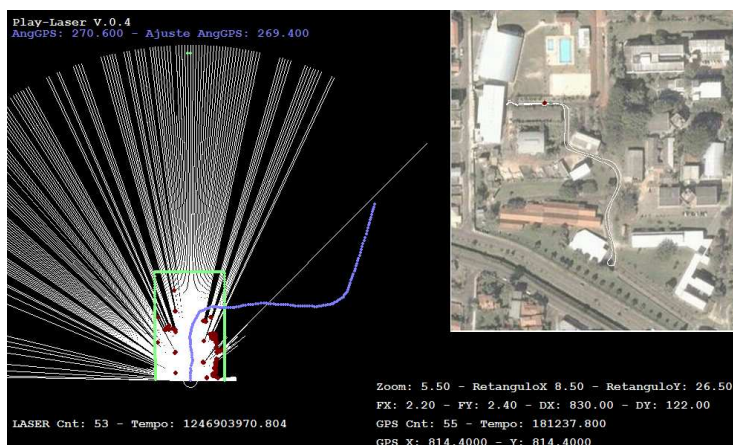


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

## INCT-SEC: Veículo Terrestre Autônomo

Navegação assistida para veículos terrestres

Deteção de Obstáculos



Sensores: Laser SICK, GPS, Câmera de Vídeo

CSBC 2009 - JAI  
# 8 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Veículo Terrestre Autônomo

Navegação assistida para veículos terrestres

Deteção de Obstáculos e Pedestres  
Alertas de Perigo





Sensores: Laser SICK, GPS, Câmera de Vídeo

Zoom: 1.3.

CSBC 2009 - JAI # 9 Aplicações

USP ICMC **LRM** Laboratório de Robótica Móvel

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

## Veículo Terrestre Autônomo





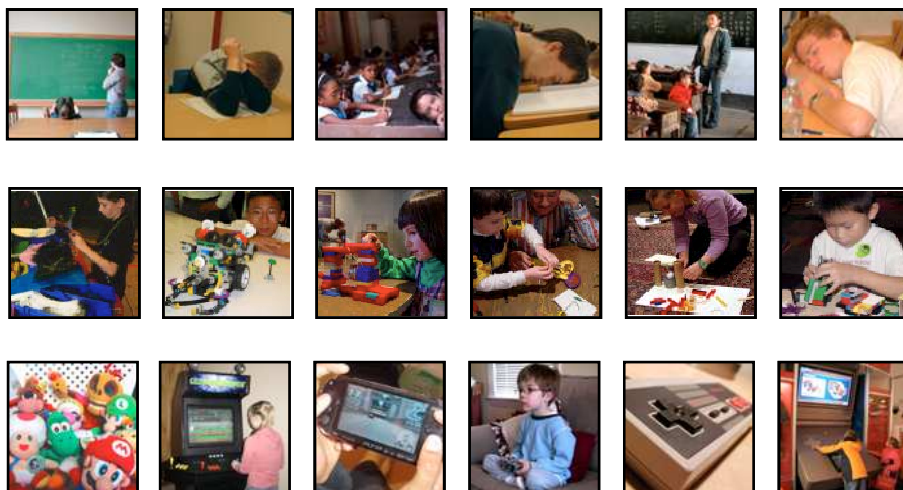


CSBC 2009 - JAI # 10 Aplicações

USP ICMC **LRM** Laboratório de Robótica Móvel

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

## Robôs Educativos



CSBC 2009 - JAI  
# 11 Aplicações



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...

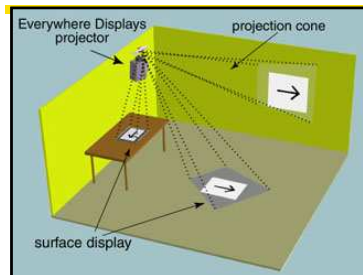


CSBC 2009 - JAI  
# 12 Aplicações



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

## Robôs Educativos: Everywhere Displays



CSBC 2009 - JAI  
# 13 Aplicações



INCT  
SEC

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

## Robôs Educativos: Jogos de Aventura

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



CSBC 2009 - JAI  
# 14 Aplicações



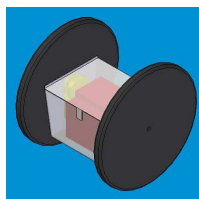
INCT  
SEC

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





## Robôs Educativos: Projeto do Robô



CSBC 2009 - JAI  
# 17 Aplicações



## Resultados



## Resultados

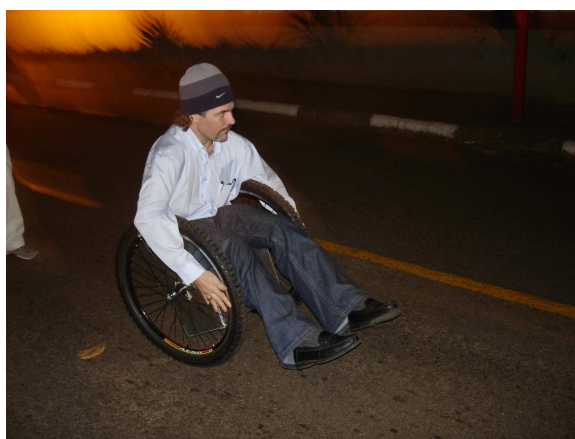
---



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

## Cadeira de Rodas Robótica

---



CSBC 2009 - JAI  
# 20 Aplicações



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

## Cadeira de Rodas Robótica: Características

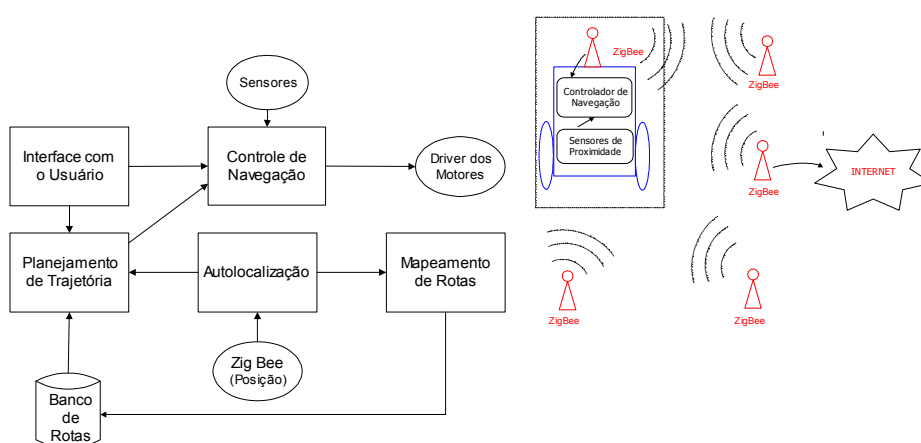
- Auxílio a mobilidade
  - Deixa as mãos livres e dispensa atenção
  - Ajuda a passar por portas e corredores
  - Dispensa acompanhante
- Monitoramento de condições do paciente
  - Conexão com clínicas para monitoramento:
    - Peso, frequência cardíaca, pressão sanguínea, mobilidade

CSBC 2009 - JAI  
# 21 Aplicações



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

## Cadeira de Rodas Robótica: Sistema

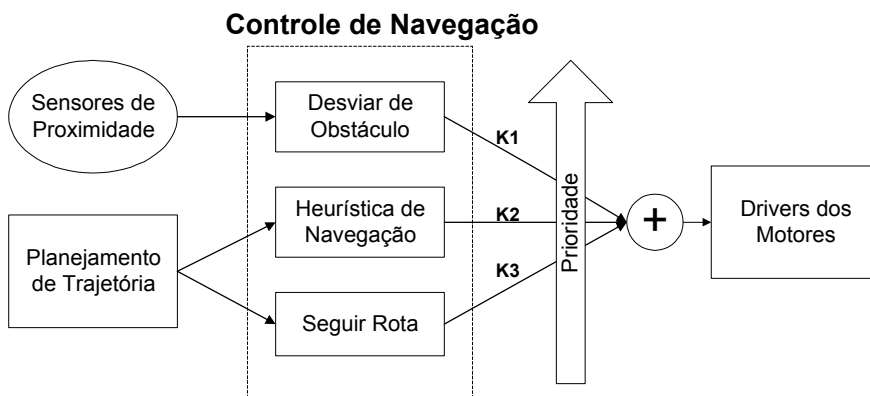


CSBC 2009 - JAI  
# 22 Aplicações



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

## Cadeira de Rodas Robótica: Controle



CSBC 2009 - JAI  
# 23 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## 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

CSBC 2009 - JAI  
# 24 Aplicações

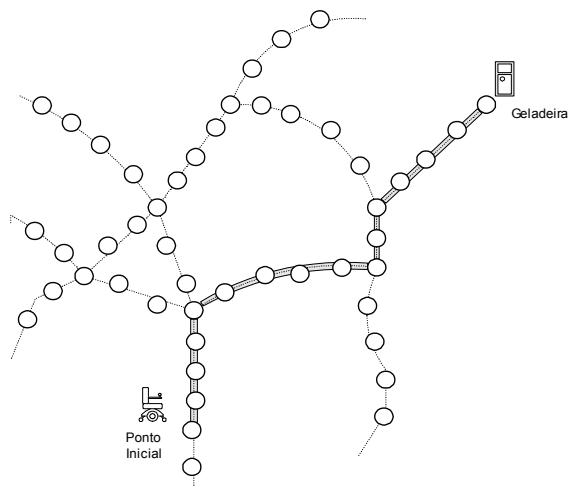


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Cadeira de Rodas Robótica: Rotas

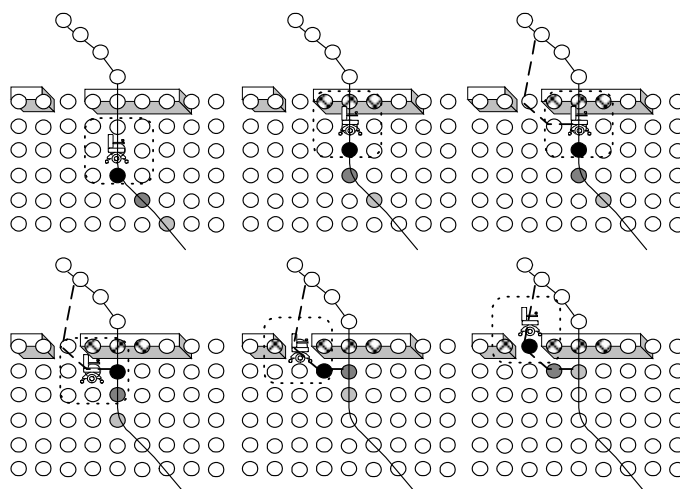


CSBC 2009 - JAI  
# 25 Aplicações



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

## Cadeira de Rodas Robótica: Navegação



CSBC 2009 - JAI  
# 26 Aplicações



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

## Robôs com Pernas



CSBC 2009 - JAI  
# 27 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Robôs com Pernas

Simulação Realística Virtual 3D

Robôs com Patas

Simulador **LEGGEN**

Evolução do Controle (AG)  
de Robôs Articulados



## Estacionamento Autônomo



CSBC 2009 - JAI  
# 29 Aplicações



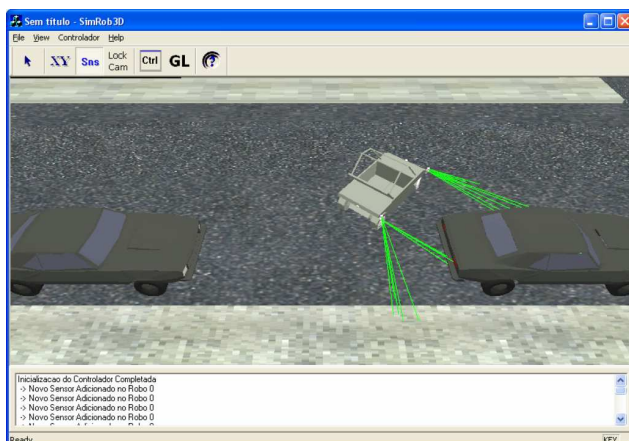
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## 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]:	195.05
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

CSBC 2009 - JAI  
# 30 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

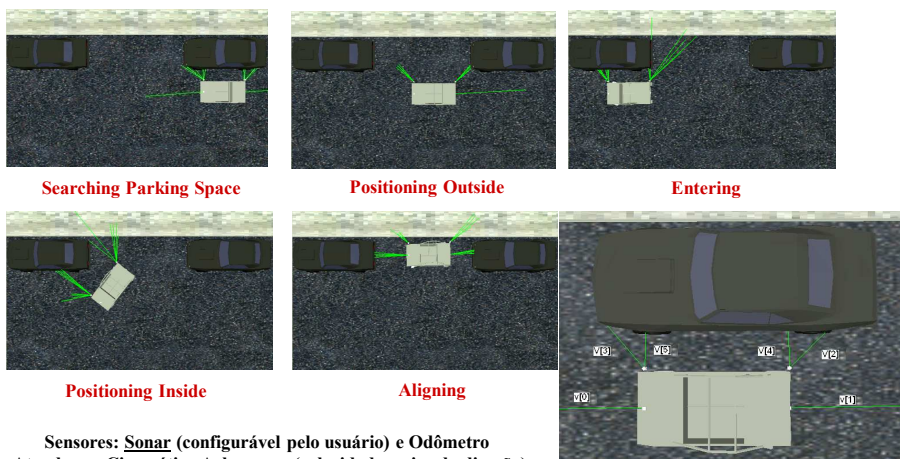
**INCT**  
*SEC*

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

## Veículos Autônomos: Simulação de Estacionamento

SEVA3D – Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos 3D

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



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

CSBC 2009 - JAI  
 # 31 Aplicações



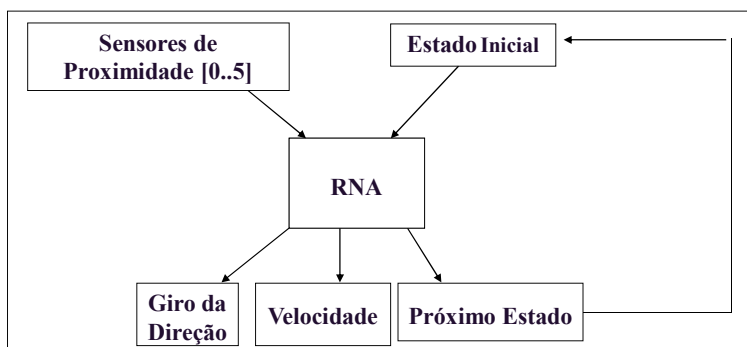
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
 em **Sistemas Embarcados Críticos**

## 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



CSBC 2009 - JAI  
 # 32 Aplicações



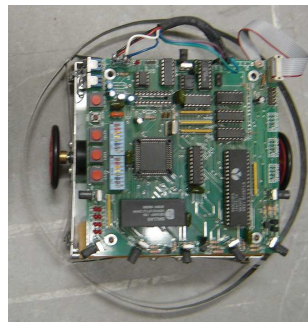
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
 em **Sistemas Embarcados Críticos**



## Veículos Terrestres Autônomos

- Robôs Móveis Táticos:

- Enxames
- Robombeiros



CSBC 2009 - JAI  
# 33 Aplicações



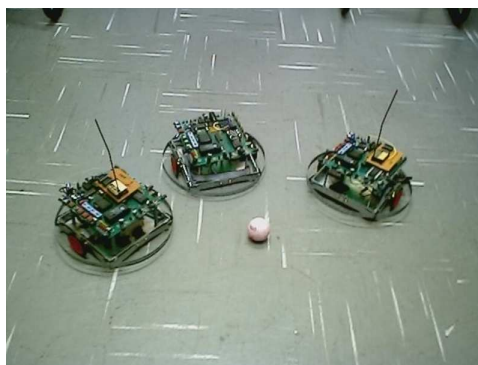
INCT  
SEC

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

## Enxames Robóticos

- Características:

- Escalabilidade
- Descentralização
- Sem conhecimento global do ambiente



CSBC 2009 - JAI  
# 34 Aplicações

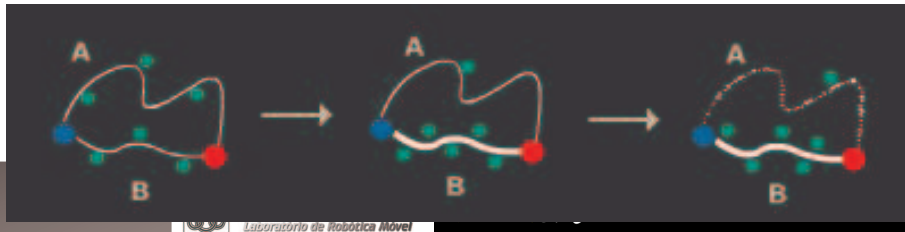


INCT  
SEC

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

## 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 Robóticas: 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 Robóticos: Colônias de Insetos

Transporte Cooperativo:

C. Kube e H. Zhang  
University of Alberta



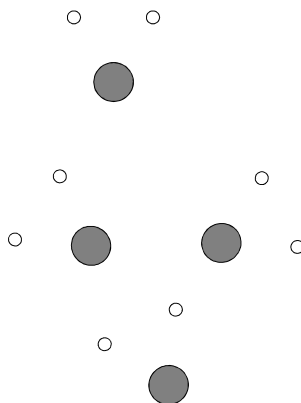
## Enxames Robóticos: Inteligência de Enxames

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



## Enxames Robóticas: Propriedades

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



CSBC 2009 - JAI  
# 39 Aplicações



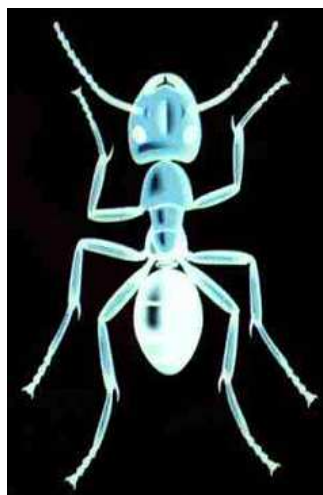
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Enxames Robóticas: Comportamentos

- Estados
  - >Feliz
  - >Triste
- Funções
  - >Solidão
  - >Tédio
  - >Decidido
  - >Indeciso
  - >Amigo
  - >Impulsivo



CSBC 2009 - JAI  
# 40 Aplicações

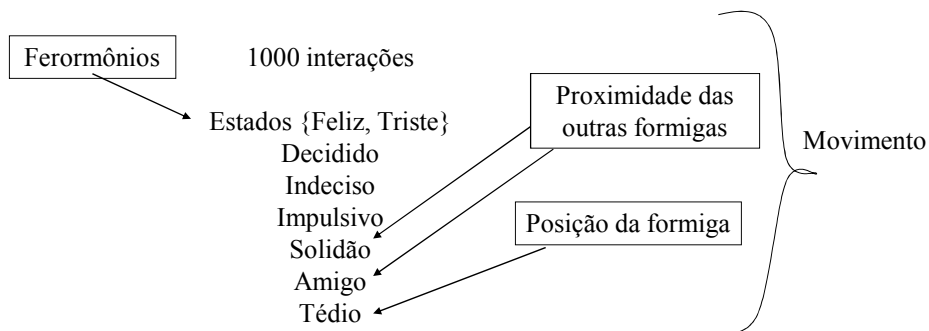


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Enxames Robóticos: Execução



CSBC 2009 - JAI  
# 41 Aplicações

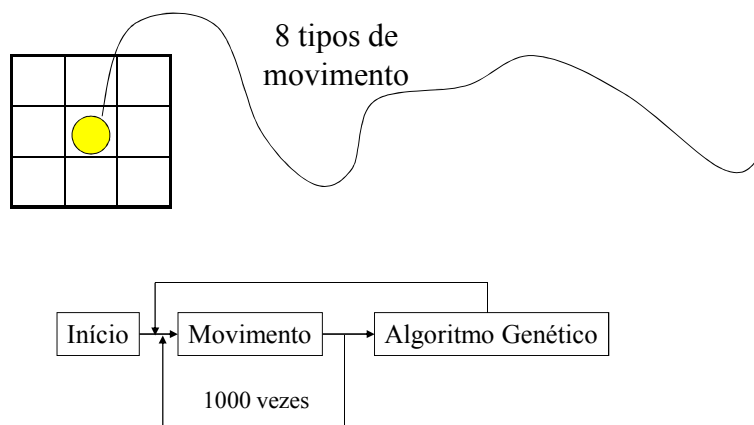


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Enxames Robóticos: Movimentação



CSBC 2009 - JAI  
# 42 Aplicações



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Enxames Robóticos: Resultados



CSBC 2009 - JAI  
# 43 Aplicações



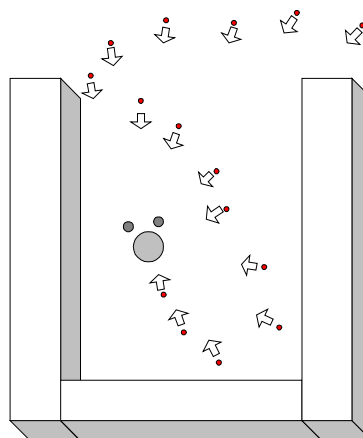
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Enxames Robóticos: Resultados

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



CSBC 2009 - JAI  
# 44 Aplicações

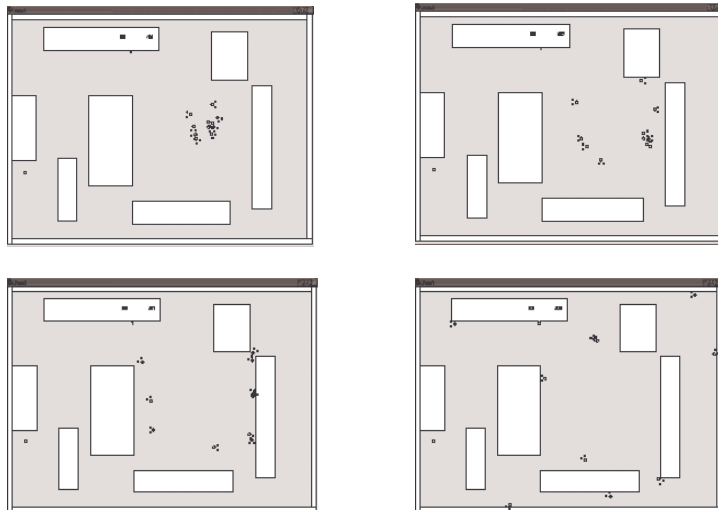


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Enxames Robóticos: Aplicações



CSBC 2009 - JAI  
# 45 Aplicações

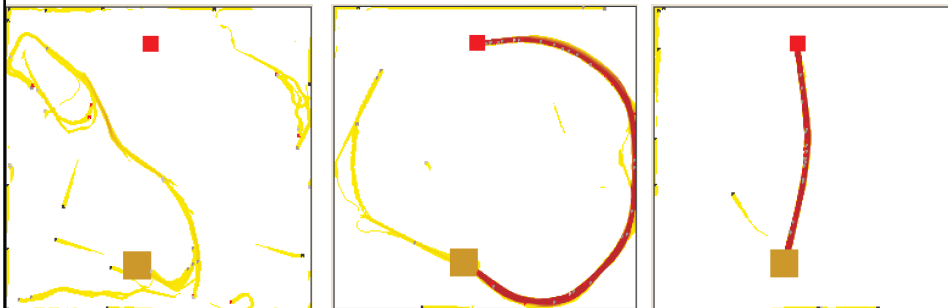


INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Enxames Robóticos: Aplicações

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



CSBC 2009 - JAI  
# 46 Aplicações



INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Enxames Robóticas: Controle

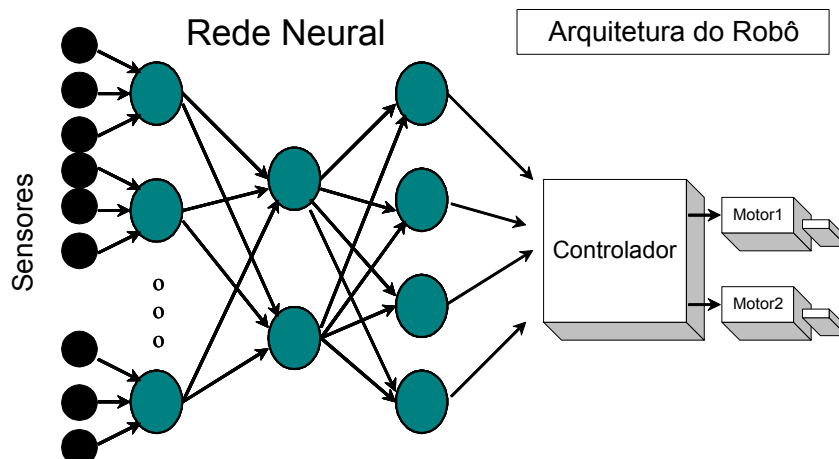


CSBC 2009 - JAI  
# 47 Aplicações



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

## Enxames Robóticas: Controle



CSBC 2009 - JAI  
# 48 Aplicações



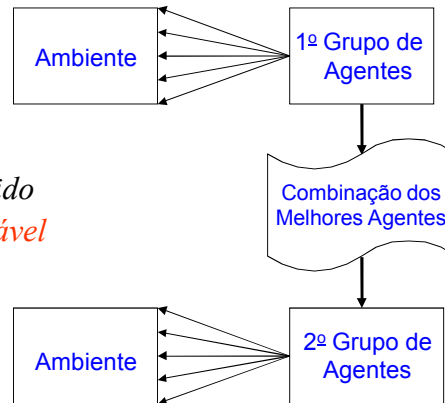
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**



## Enxames Robóticas: Controle

### ■ Computação Evolutiva

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



CSBC 2009 - JAI  
# 49 Aplicações



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

## Enxames Robóticas: 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

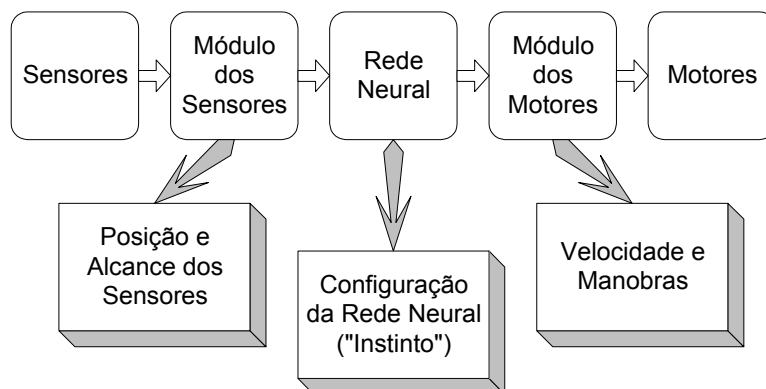
CSBC 2009 - JAI  
# 50 Aplicações



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

## Exames Robóticos: Controle

### Arquitetura do Robô



CSBC 2009 - JAI  
# 51 Aplicações



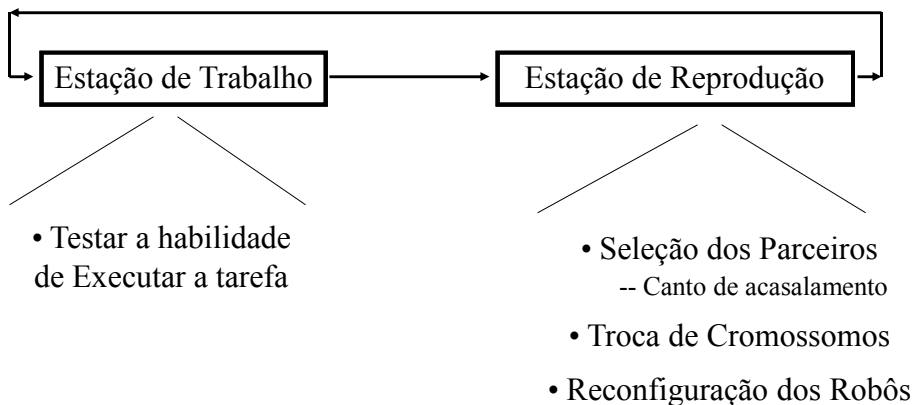
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Exames Robóticos: Controle

### Processo Evolutivo:



CSBC 2009 - JAI  
# 52 Aplicações

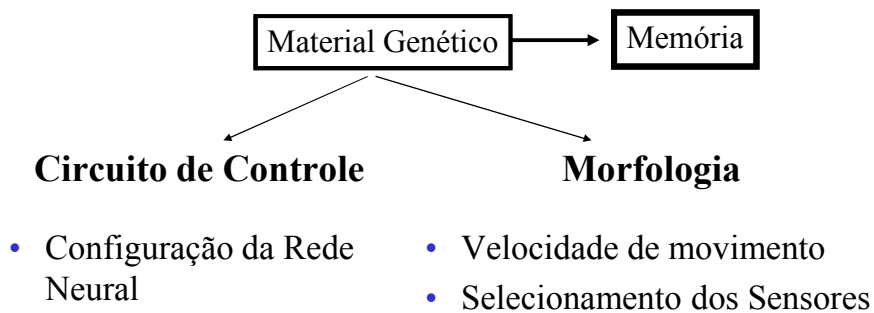


**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Enxames Robóticas: Controle



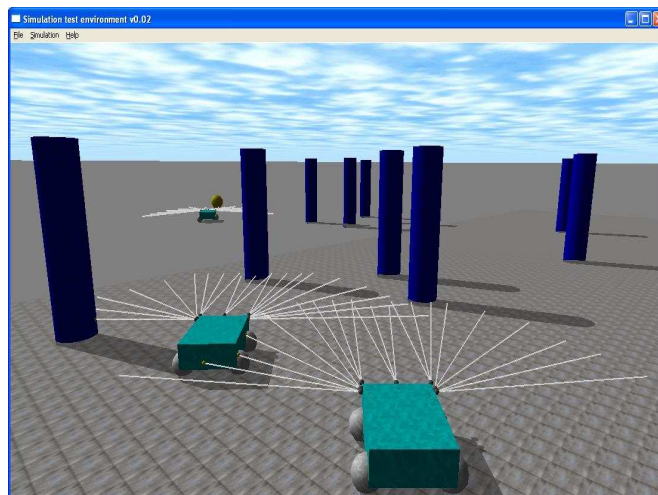
CSBC 2009 - JAI  
# 53 Aplicações



INCT  
SEC

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

## Robombeiros



CSBC 2009 - JAI  
# 54 Aplicações



INCT  
SEC

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

## Esquadrão Robótico: **Simulação**

### *Robótica Autônoma - Controle Inteligente Multirobôs*

Robomberos – 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



CSBC 2009 - JAI  
# 55 Aplicações



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

## Esquadrão Robótico: **Simulação**

### Navegação com desvio de obstáculos

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

**DIRECIONAMENTO GLOBAL** (Posição + Bússola)

**NAVEGAÇÃO LOCAL** (Desvio)



Robomberos:

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

CSBC 2009 - JAI  
# 56 Aplicações



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

## 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

CSBC 2009 - JAI # Aplicações

USP ICMC **LRM** Laboratório de Robótica Móvel

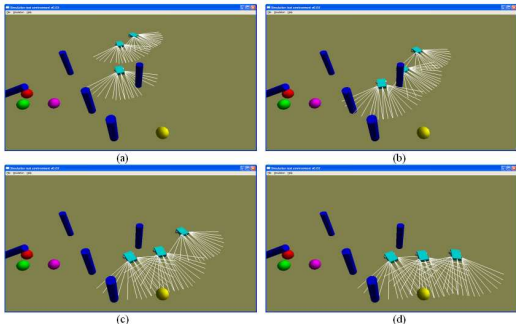
**INCT SEC** Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em **Sistemas Embarcados Críticos**

## 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*



**RoBombeiros :**  
**Controle dos Robôs**

*Simulação Física usando a ODE*

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

Seqüências de uma simulação com navegação e desvio satisfatórios

CSBC 2009 - JAI # Aplicações

USP ICMC **LRM** Laboratório de Robótica Móvel

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

## Esquadrão Robótico: **Simulação**

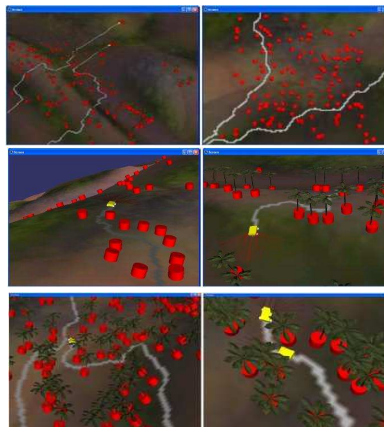
*Robótica Autônoma: AÇÕES TÁTICAS*

*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



CSBC 2009 - JAI  
# 59 Aplicações

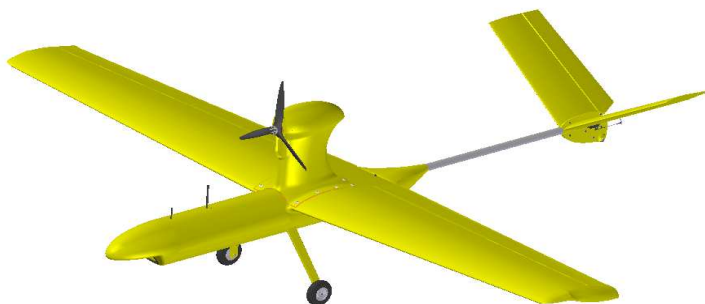


**INCT**  
*SEC*

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

## Veículos Aéreos Não Tripulados

- Projeto  
ARARA



CSBC 2009 - JAI  
# 60 Aplicações



**INCT**  
*SEC*

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

## 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



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

## Perspectivas da Robótica Móvel

“Será a Vida Artificial possível?”



CSBC 2009 - JAI  
# 62 Aplicações



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

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>	

CSBC 2009 - JAI  
# 63 FINAL



**LRM**  
*Laboratório de Robótica Móvel*

**INCT**  
*SEC*

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