



# Computação Embarcada

## Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes

*Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos - GPVA*  
<http://www.eletrica.unisinos.br/~autonom>

**Dr. Fernando S. Osório**

- [Http://inf.unisinos.br/~osorio/](http://inf.unisinos.br/~osorio/)  
Computação Aplicada - PIPCA

**Dr. Christian R. Kelber**

- Eng. Elétrica

**Dr. Cláudio R. Jung**

- Computação Aplicada / PIPCA

**MSc. Farlei Heinen**

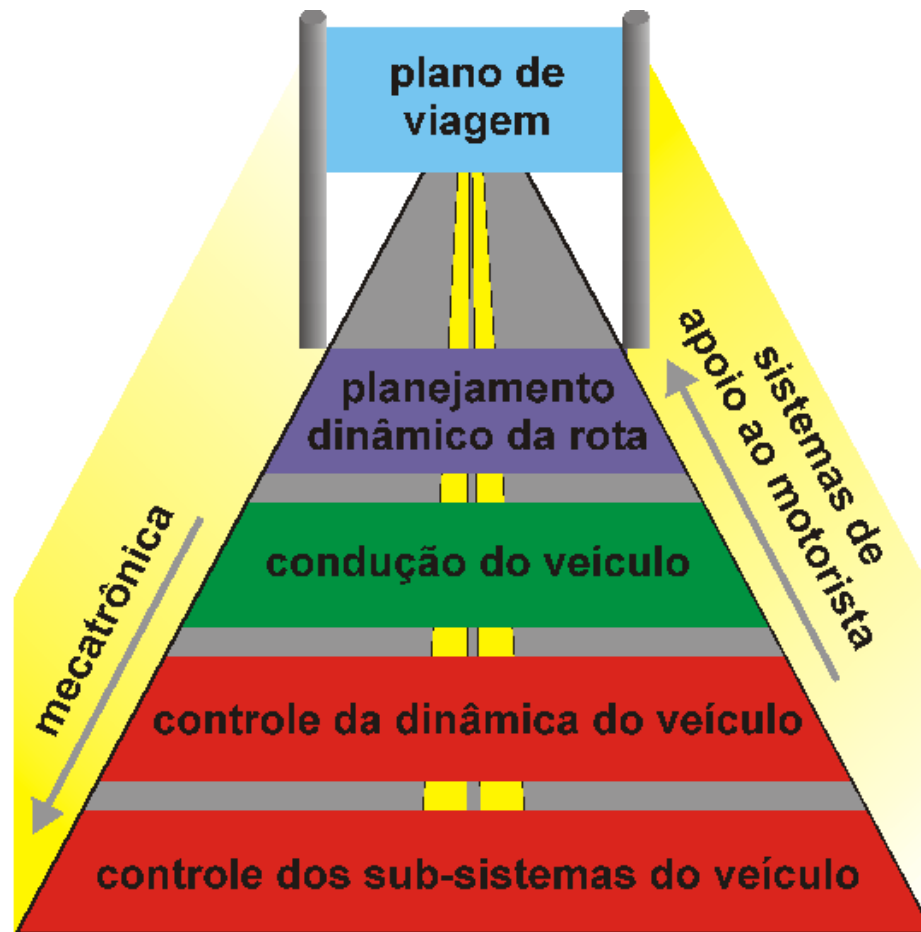
- Eng. da Computação (coord.)



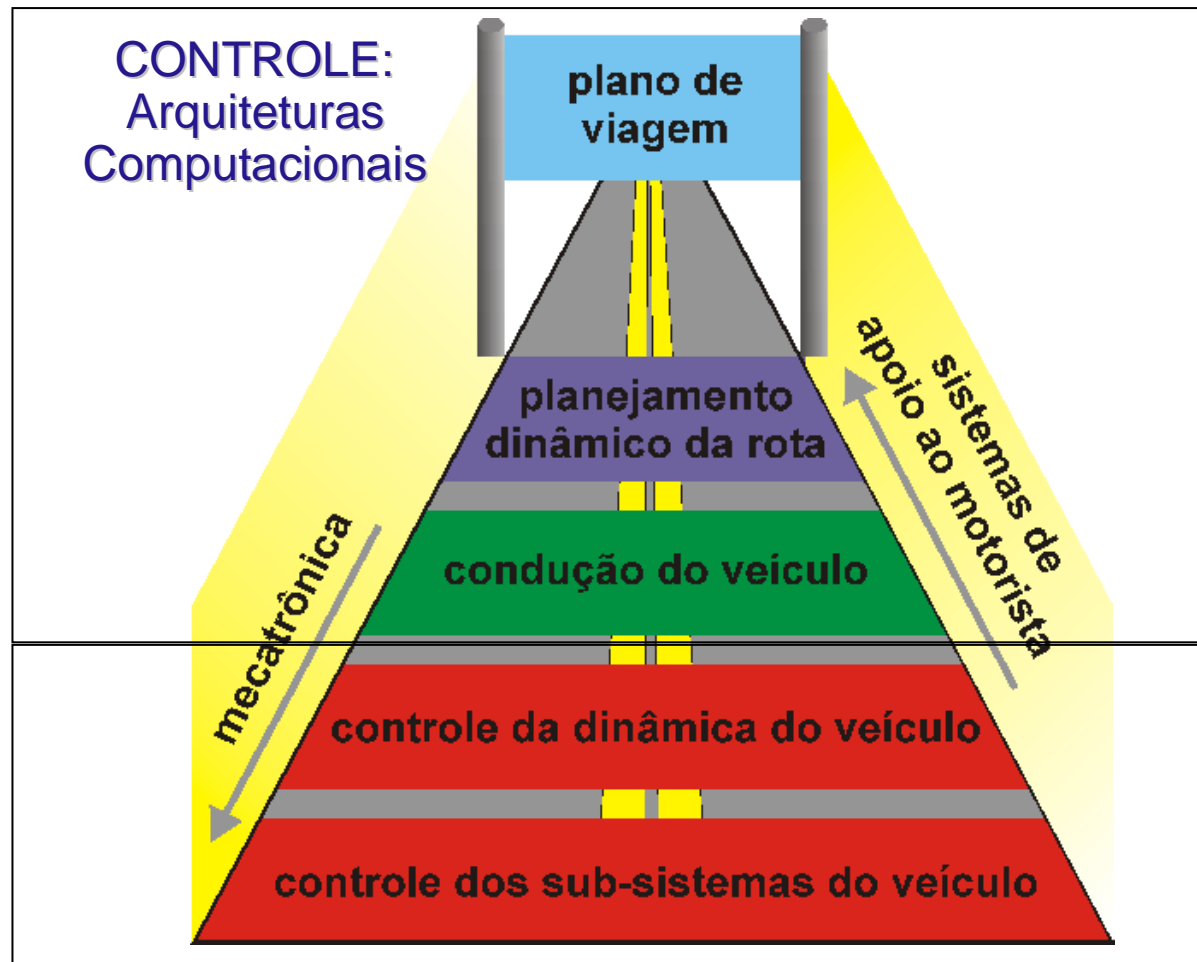
# Veículos Autônomos Inteligentes

- **Introdução**
- **Robótica: Autômatos, Robôs Móveis e Robôs Autônomos**
  - ⇒ Ação e Locomoção, Percepção e Comunicação
  - ⇒ Controle e Inteligência
- **Veículos Inteligentes**
  - ⇒ Sistemas Mecatrônicos Embarcados, Instrumentação
  - ⇒ Aplicações das Tecnologias para Automação Veicular: SAM, STA
- **Controle Inteligente de Veículos Autônomos**
  - ⇒ Pirâmide de Controle, Controle dos Sub-Sistemas Mecatrônicos
  - ⇒ Controle: Arquiteturas Computacionais
    - ⌘ *Controle Reativo, Deliberativo, Hierárquico e Híbrido*
  - ⇒ Simulação de Veículos Autônomos
- **Visão Computacional e Aplicações Práticas**

# Níveis de Controle



# Níveis de Controle





## CONTROLE: Arquiteturas Computacionais

- Modelos Sensoriais
- Modelos Cinemáticos
- Controle Robótico:
  - \* Controle Reativo
  - \* Controle Deliberativo
  - \* Controle Hierárquico
  - \* Controle Híbrido
- Mapas do Ambiente:
  - \* Construção de Mapas
  - \* Planejamento de Trajetórias
  - \* SMPA - *Sense Model Plan Act*
- Problemas:
  - \* Desvio de Obstáculos: Estático / Móvel - **Imprevistos**
  - \* Determinação da Real Posição do Robo - **Posicionamento**

## CONTROLE: Arquiteturas Computacionais

- Modelos Sensoriais
- Modelos Cinemáticos

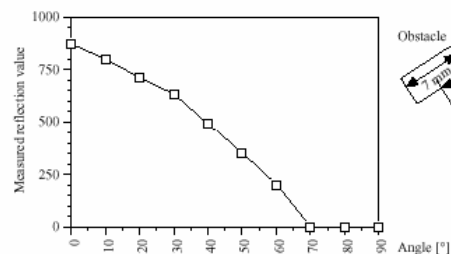
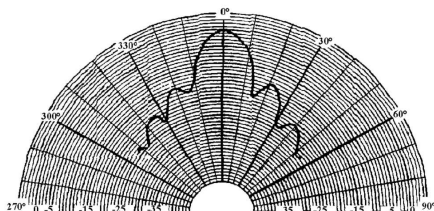
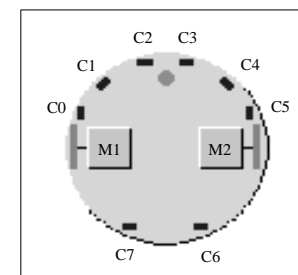
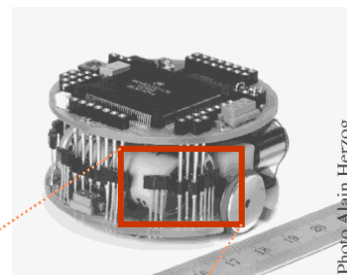


Figure 12: Typical response of a proximity sensor for an obstacle (7 mm in width) at a distance of 15 mm. The measurement is given versus the angle between the forward orientation of the robot and the orientation of the obstacle.

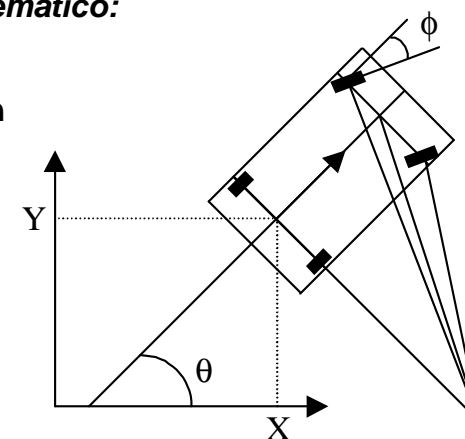
### Modelo Sensorial:

- Sonar
- Infra-Vermelho
- Radar, Bússola, Odômetro



### Modelo Cinemático:

- Diferencial
- Aeckerman



Aeckerman



$$\theta = V / L * \text{Sin} (\Phi)$$

$$X = V * \text{Cos} (\Phi) * \text{Cos} (\theta)$$

$$Y = V * \text{Cos} (\Phi) * \text{Cos} (\theta)$$



## CONTROLE: Arquiteturas Computacionais

- Modelos Sensoriais
- Modelos Cinemáticos
- Controle Robótico:
  - \* Controle Reativo
  - \* Controle Deliberativo
  - \* Controle Hierárquico
  - \* Controle Híbrido
- Mapas do Ambiente:
  - \* Construção de Mapas
  - \* Planejamento de Trajetórias
  - \* SMPA - *Sense Model Plan Act*
- Problemas:
  - \* Desvio de Obstáculos: Estático / Móvel - **Imprevistos**
  - \* Determinação da Real Posição do Robo - **Posicionamento**

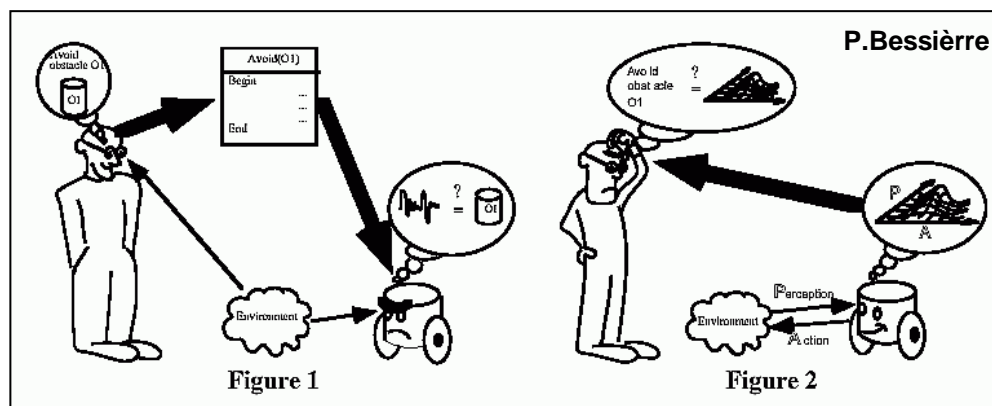
## CONTROLE: Arquiteturas Computacionais



### Complexidade....

- \* Planejar as Ações
- \* Agir
- \* Sentir o Ambiente
- \* Integração Sensorial-Motora
- \* Previsão: Estado do Ambiente, Comportamento, Interação
- \* Aprendizado e Adaptação
- \* Robustez: Situações Imprevistas

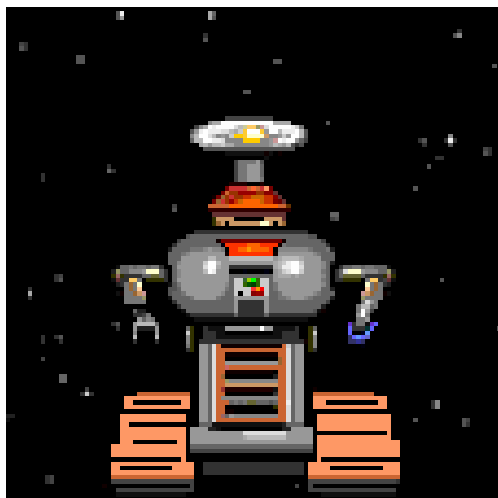
Por onde começar ???







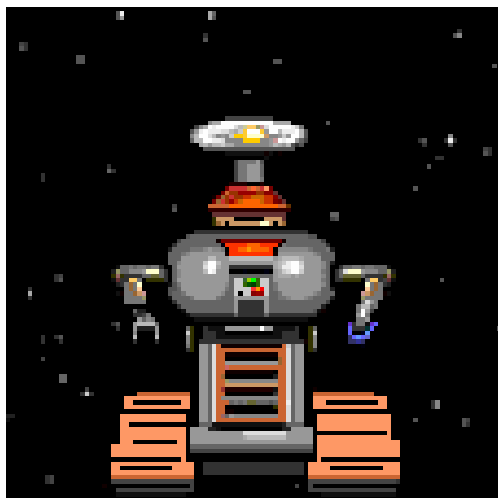
CONTROLE: Arquiteturas Computacionais



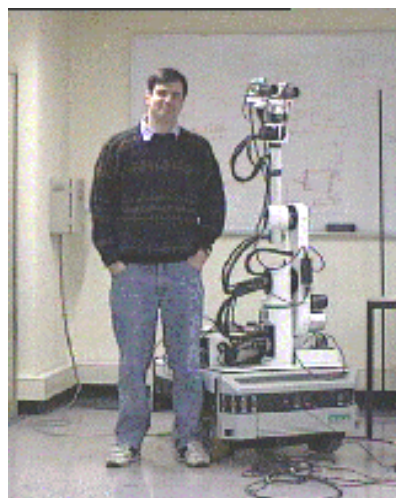
**Complexidade....**



CONTROLE: Arquiteturas Computacionais

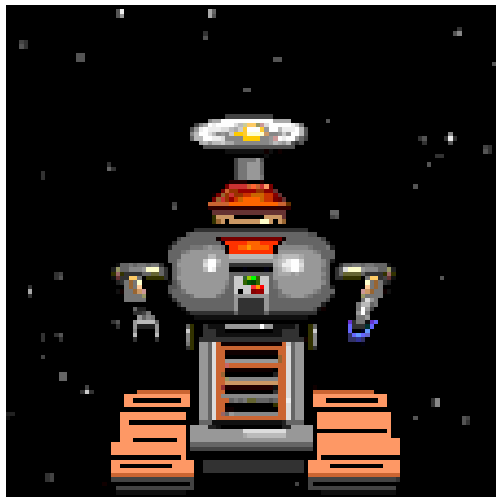


**Complexidade....**

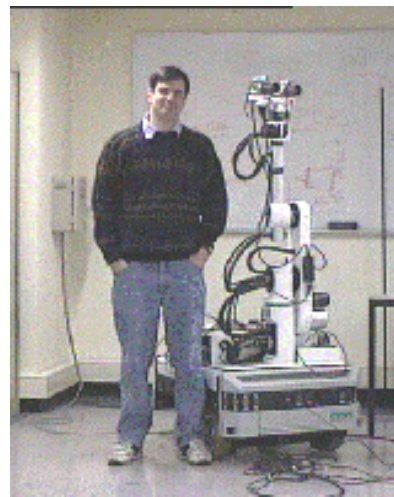


**Simplificar! Como?**

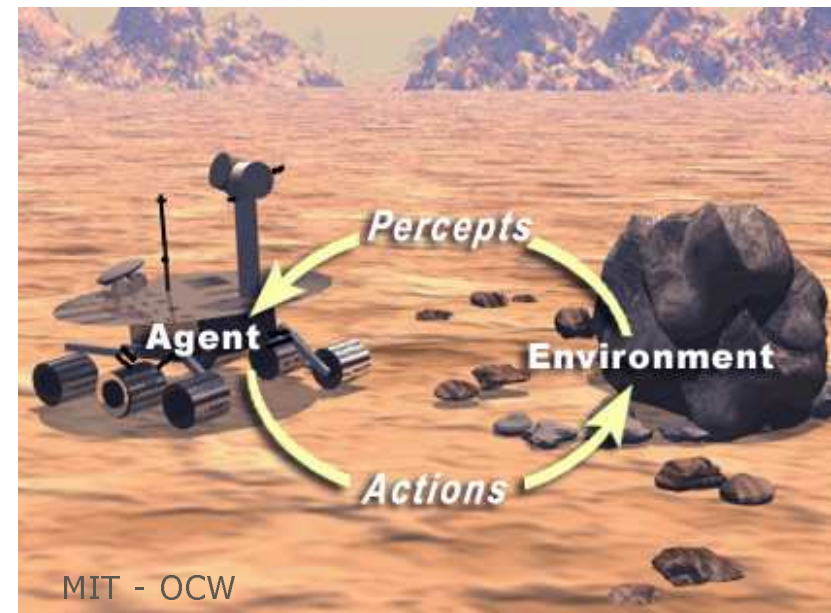
## CONTROLE: Arquiteturas **REATIVAS**



Complexidade....



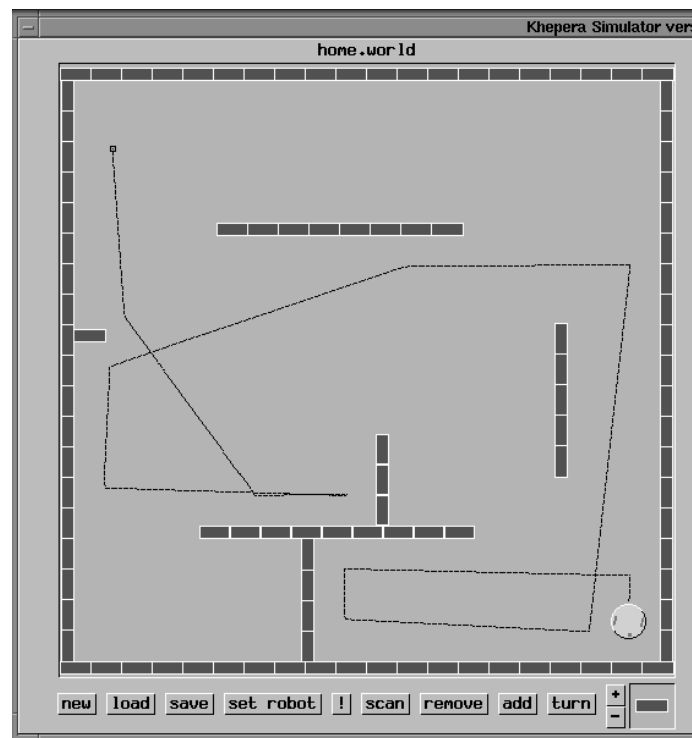
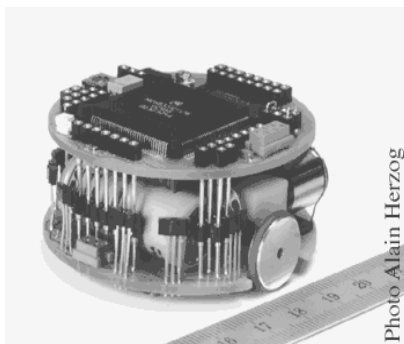
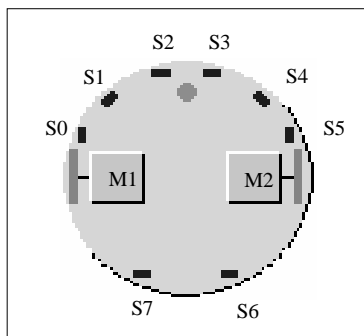
Simplificar! Como?



- **Reativo: Integração Sensorial-Motora**
  - Capacidade de Agir
  - Capacidade de Sentir o Ambiente
  - Capacidade de Reagir

## CONTROLE: Arquiteturas REATIVAS

- Reativo: Integração Sensorial-Motora



Sensorial-Motor: Sentir => Agir

### Controle Reativo

IF S1 < Limite *and*  
S2 < Limite *and*  
S3 < Limite *and*  
S4 < Limite  
THEN Action (Go\_Forward)

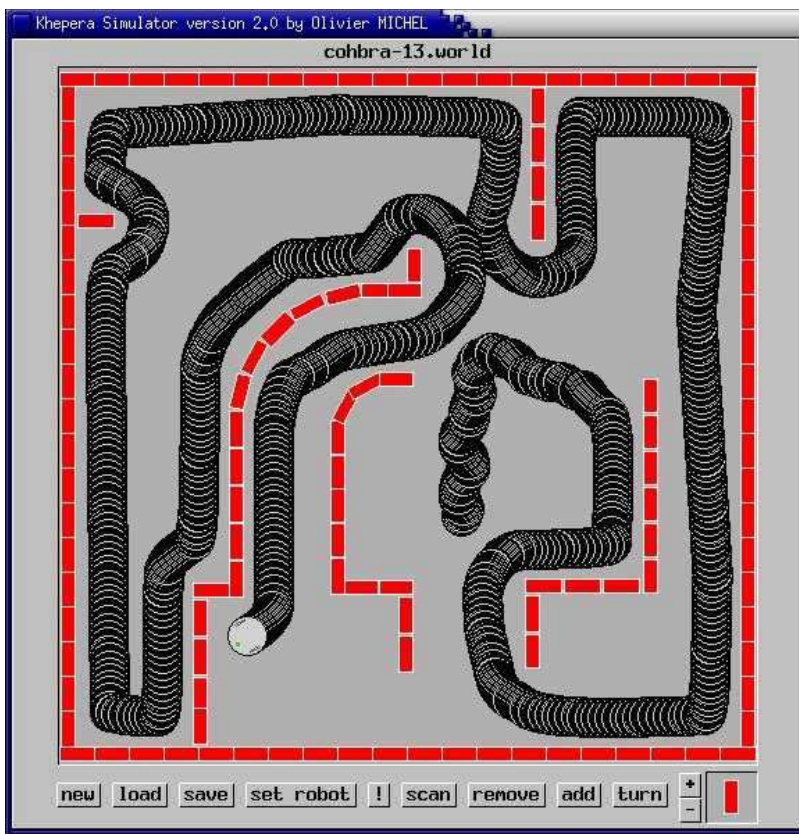
IF S1 < Limite *and*  
S2 < Limite *and*  
S3 > Limite *and*  
S4 > Limite  
THEN Action(Turn\_Left)

IF S2 > Limite *and*  
S3 > Limite *and*  
S2 > S3 *and*  
S1 > S4  
THEN Action(Turn\_Right)

## CONTROLE: Arquiteturas REATIVAS

### • Reativo: Integração Sensorial-Motora

Controle Reativo



Sensorial-Motor: *Avoid Obstacles, Wall Following, Wander*



#### Robotic Lawn Mowers

- Toro iMow
- Husqvarna Auto Mower
- Automower Electrolux

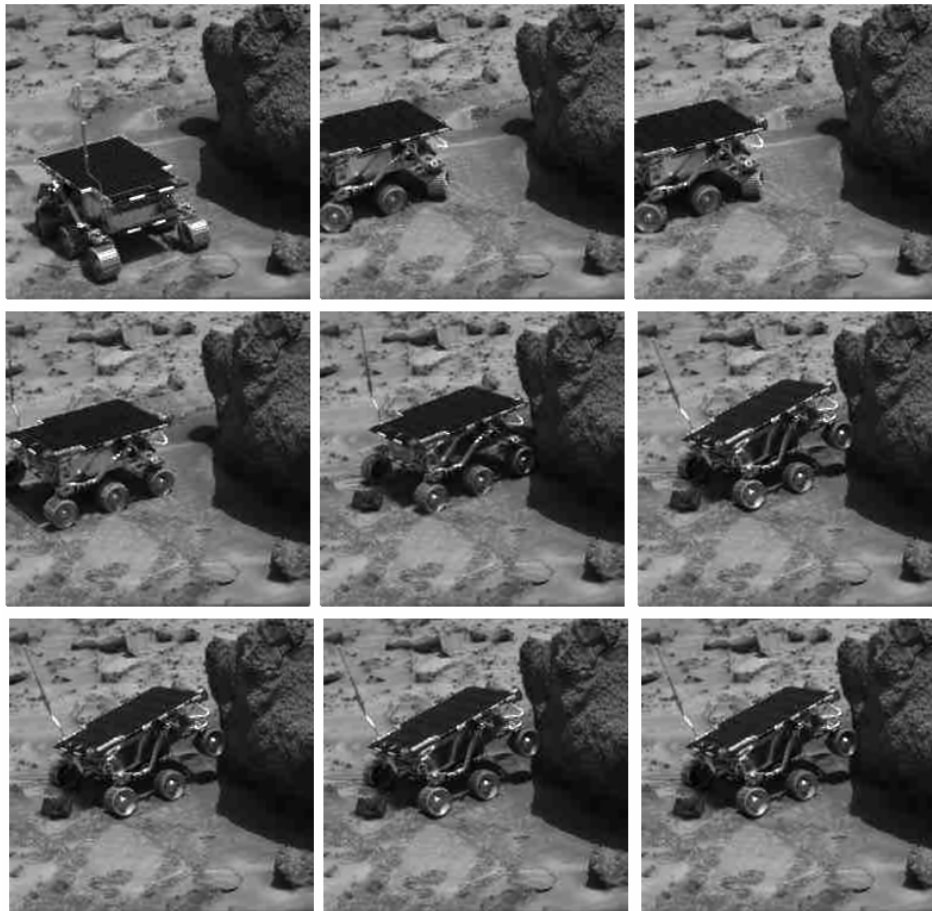


Electrolux Trilobite  
Robotic Vacuum Cleaner ZA1

[http://www.onrobo.com/reviews/At\\_Home/Vacuum\\_Cleaners/](http://www.onrobo.com/reviews/At_Home/Vacuum_Cleaners/)

## CONTROLE: Arquiteturas **REATIVAS**

### • Reativo: Integração Sensorial-Motora



### Controle Reativo



The rover goes a little too far and begins to climb Yogi (NASA)



### Sensorial-Motor:

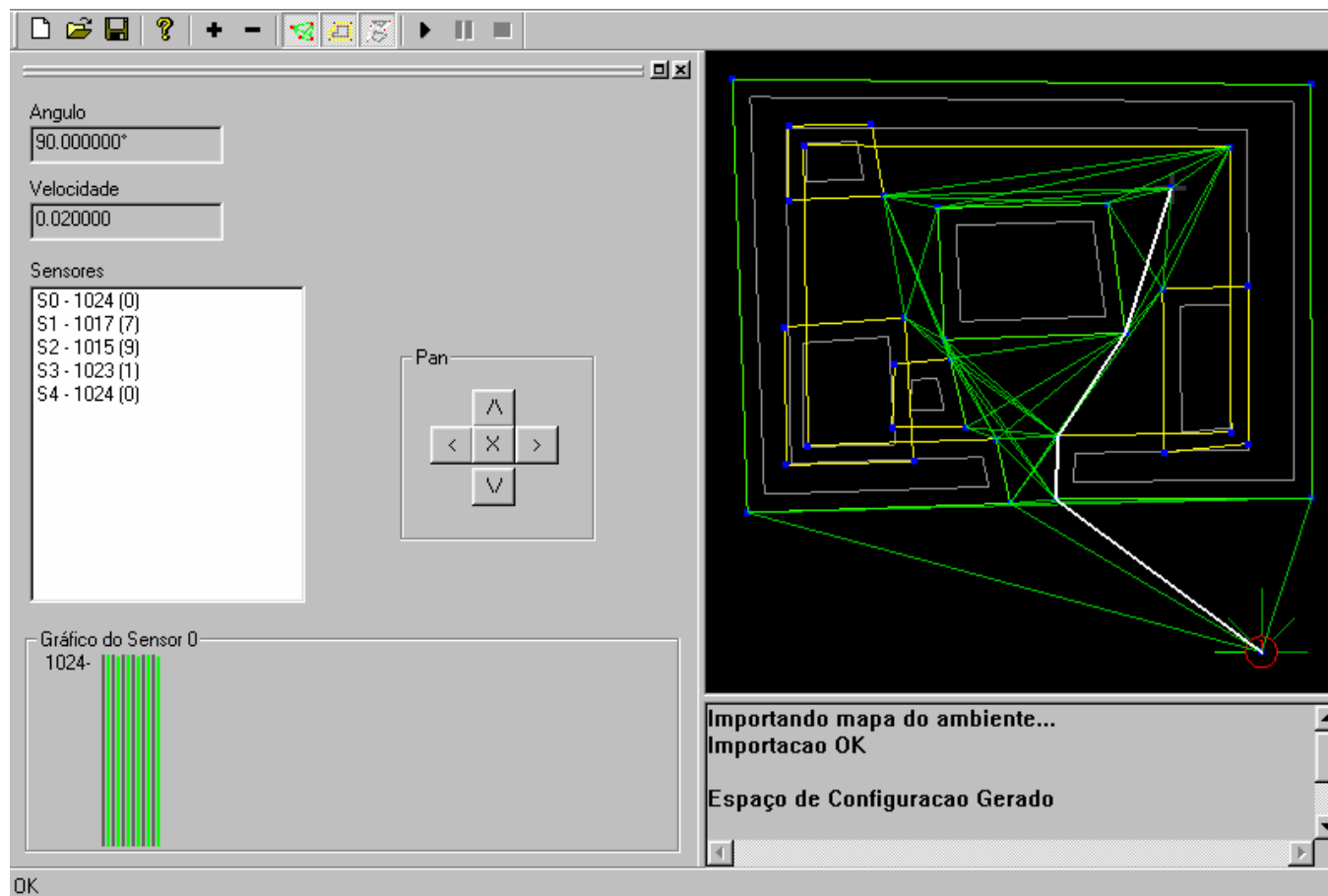
- *Avoid Obstacles*
- *Wall Following*
- *Wander*

Comportamentos Simples...  
Robustez? Tarefas Complexas?

## CONTROLE: Arquiteturas **DELIBERATIVAS**

### Controle Deliberativo

#### • Deliberativo: Planejamento - Ação

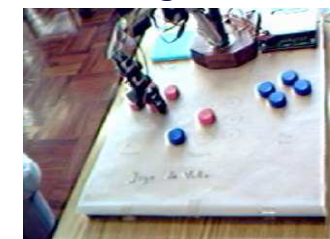


#### SIM (2D)

- Mapa
- Espaço de Config.
- Grafo de Visibilidade
- Caminho Otimizado (Dijkstra)



Braço Robótico:  
Pré-Programado



**Controle Deliberativo**

**CONTROLE:** Arquiteturas **DELIBERATIVAS**

- **Deliberativo: Planejamento - Ação**

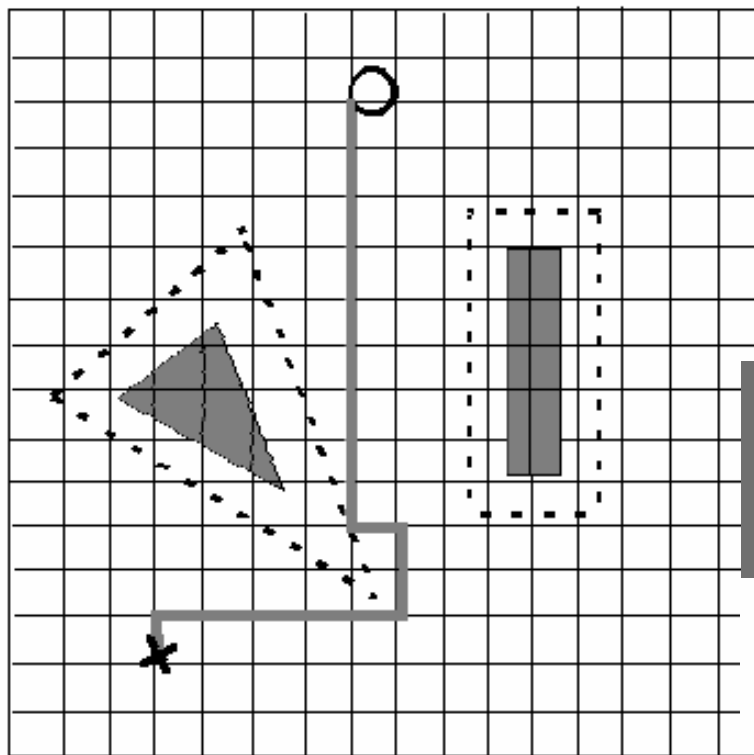
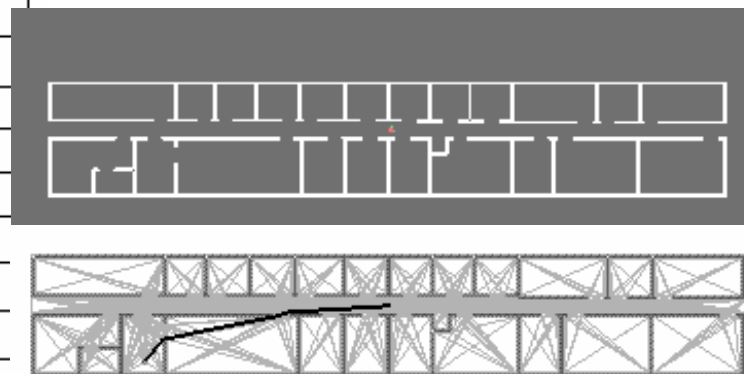
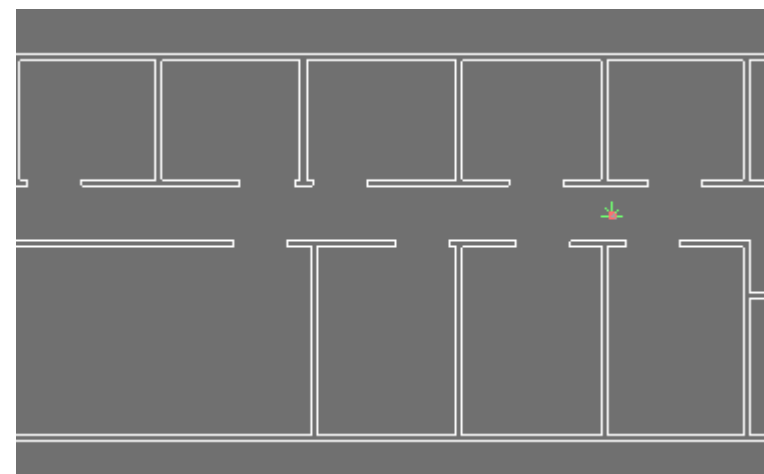
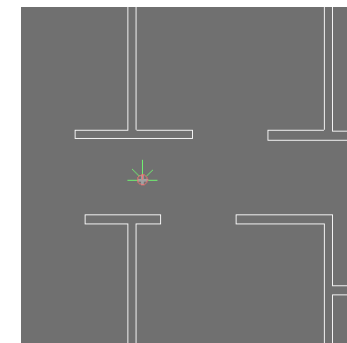
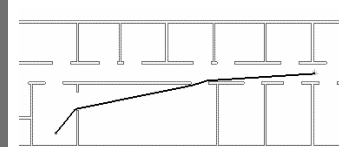


Figura 4.3 Navegação baseada em *Grid*

Tarefas Complexas...  
Robustez?  
Imprevistos?  
Ambiente pouco conhecido?



Navegação baseada em Mapa Geométrico  
Planejamento: A\*, Grafo+Dijkstra





CONTROLE: Arquiteturas **HIERÁRQUICAS**  
 Arquiteturas **HÍBRIDAS**

**Controle Hierárquico**  
**Controle Híbrido**

**Combinação: Deliberativo + Reativo**

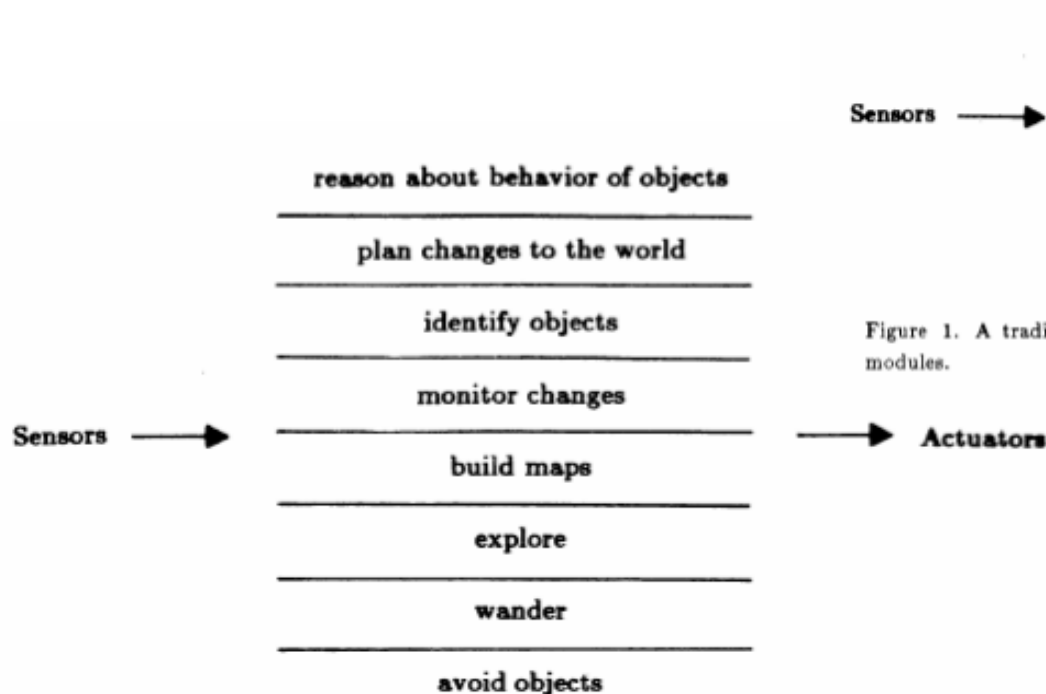


Figure 2. A decomposition of a mobile robot control system based on task achieving behaviors.

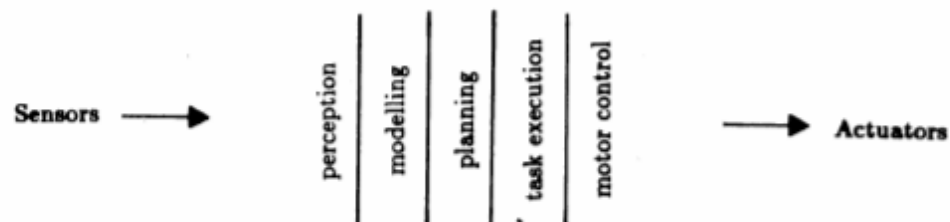


Figure 1. A traditional decomposition of a mobile robot control system into functional modules.

**Controle Hierárquico:**

- Camadas
- Prioridades
- Troca de Informações

Figures From:  
 Brooks, R. A.  
 MIT A.I. Memo 864  
 Sept. 1985

**Brooks - Arquitetura Subsumption**

**Controle Hierárquico**  
**Controle Híbrido**

CONTROLE: Arquiteturas **HIERÁRQUICAS**  
 Arquiteturas **HÍBRIDAS**

Construção do Mapa do Ambiente:

SMPA - SENSE / MODEL / PLAN / ACT

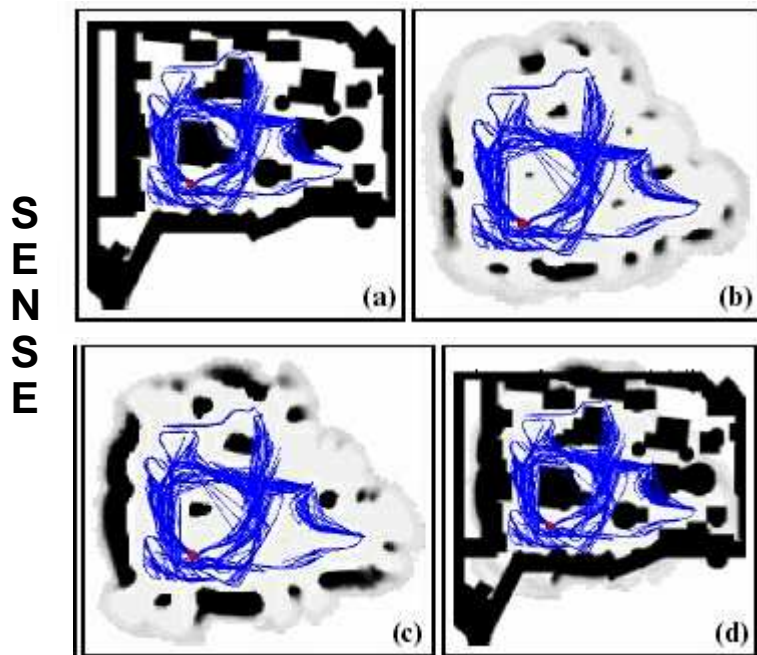


Fig. 9. Integrating multiple maps: (a) CAD map of the museum ( $21 \times 20m^2$ ) modeling only the static obstacles, (b) laser map, (c) sonar map, and (d) the integrated map used for path planning.

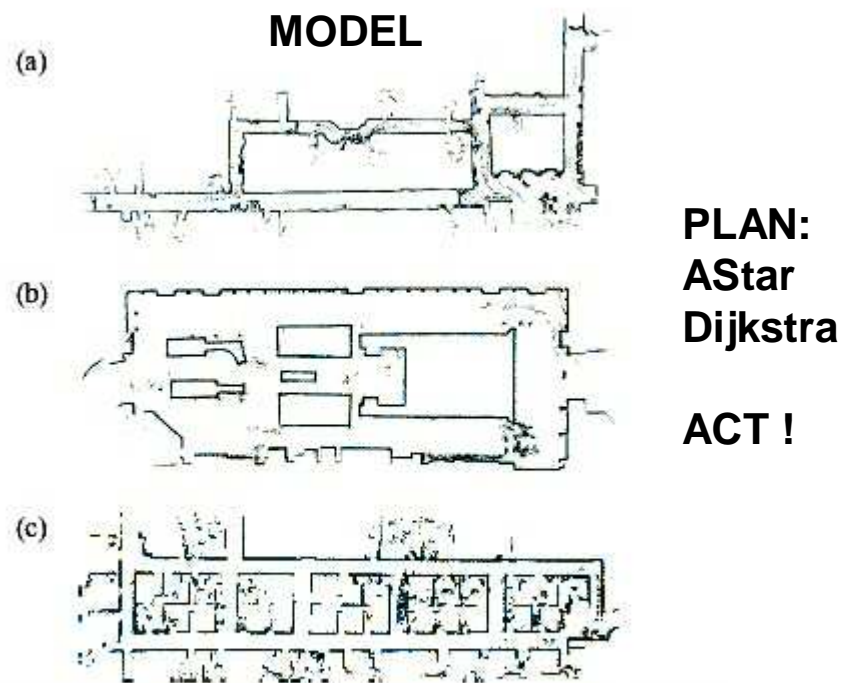


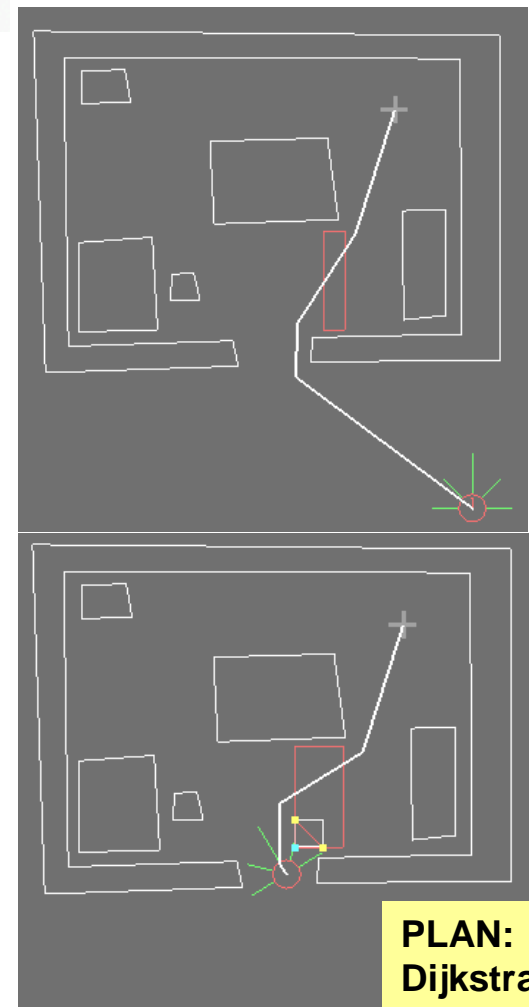
Figure 5: Maps generated in other large-scale environments of sizes (a) 75m, (b) 45m, and (c) 50m. In some of these runs, the cumulative odometric error exceeds 30 meters and 90 degrees.

Sebastian Thrun / CMU

## CONTROLE: Arquiteturas HÍBRIDAS



### Controle Híbrido

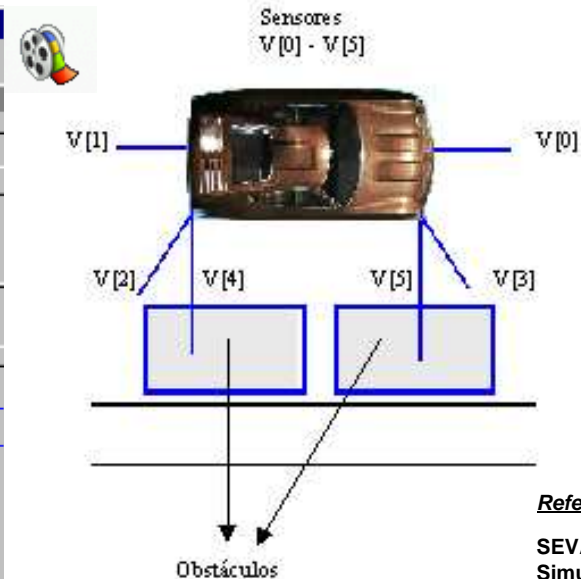
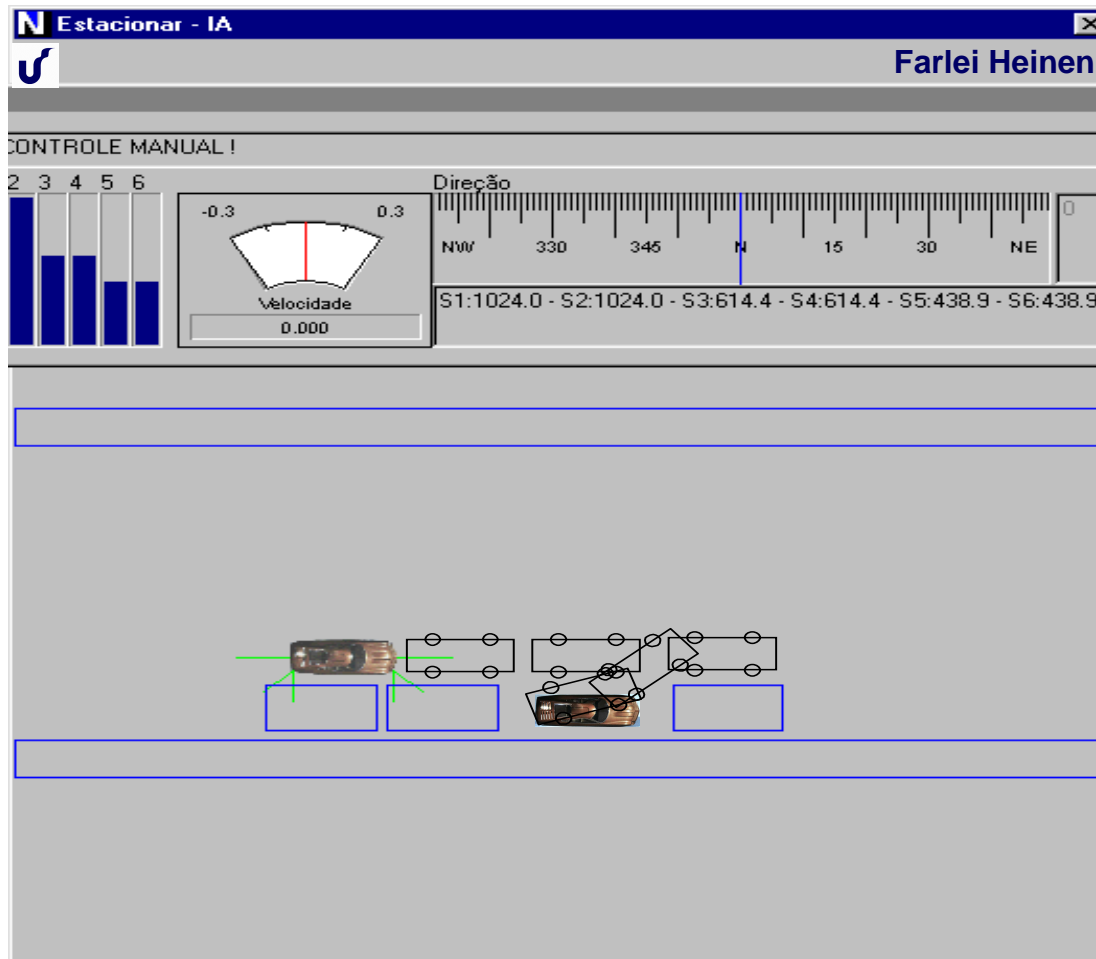


PLAN:  
Dijkstra

ACT &  
ReACT

## CONTROLE: Arquiteturas HÍBRIDAS

### Controle Híbrido



**Referências:**

SEVA 2D  
Simulador de  
Estacionamento de  
Veículos  
Autônomos

SEVA-A (Autômato)  
Farlei Heinen

SEVA-N (Neural)  
Farlei Heinen  
Fernando Osório  
Luciane Fortes

**Publicações:**

SEMINCO 2001  
SBRN 2002

**PLANEJAMENTO:  
Autômato Finito (FSA)**

**AÇÃO:  
Sentir, Agir  
Reagir (mudar de estado)**

SEVA3D [Milton Heinen, 2005]



## CONTROLE: Arquiteturas Computacionais

- Modelos Sensoriais
- Modelos Cinemáticos
- Controle Robótico:
  - \* Controle Reativo
  - \* Controle Deliberativo
  - \* Controle Hierárquico
  - \* Controle Híbrido
- Mapas do Ambiente:
  - \* Construção de Mapas
  - \* Planejamento de Trajetórias
  - \* SMPA - *Sense Model Plan Act*
- Problemas:
  - \* Desvio de Obstáculos: Estático / Móvel - **Imprevistos**
  - \* Determinação da Real Posição do Robo - **Posicionamento**



## Veículos Autônomos Inteligentes Sistemas de Controle Execução de Tarefas

### **PROBLEMAS:**

#### **\* Desvio de Obstáculos**

- Obstáculos conhecidos
- Obstáculos desconhecidos (parados)
- Obstáculos desconhecidos (em movimento)

#### **\* Posicionamento**

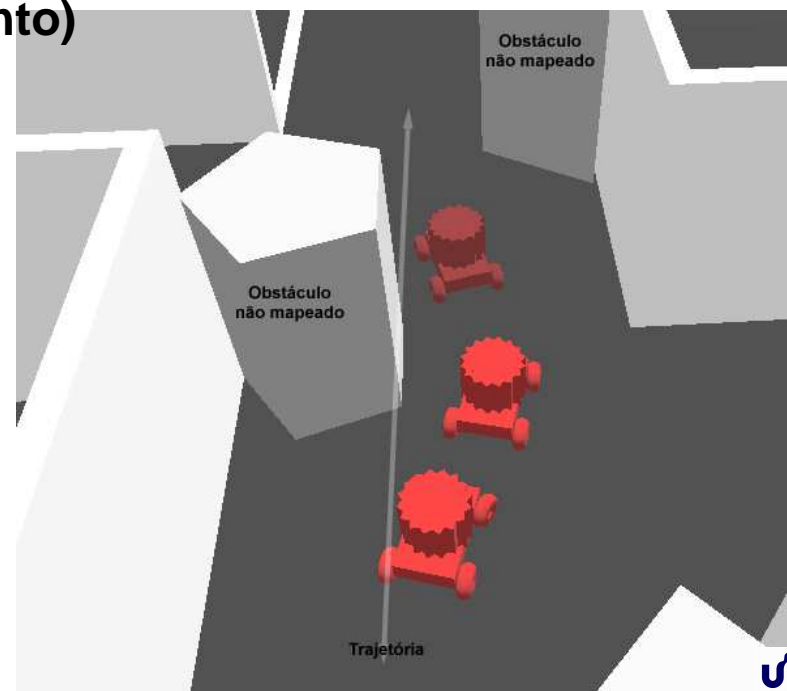
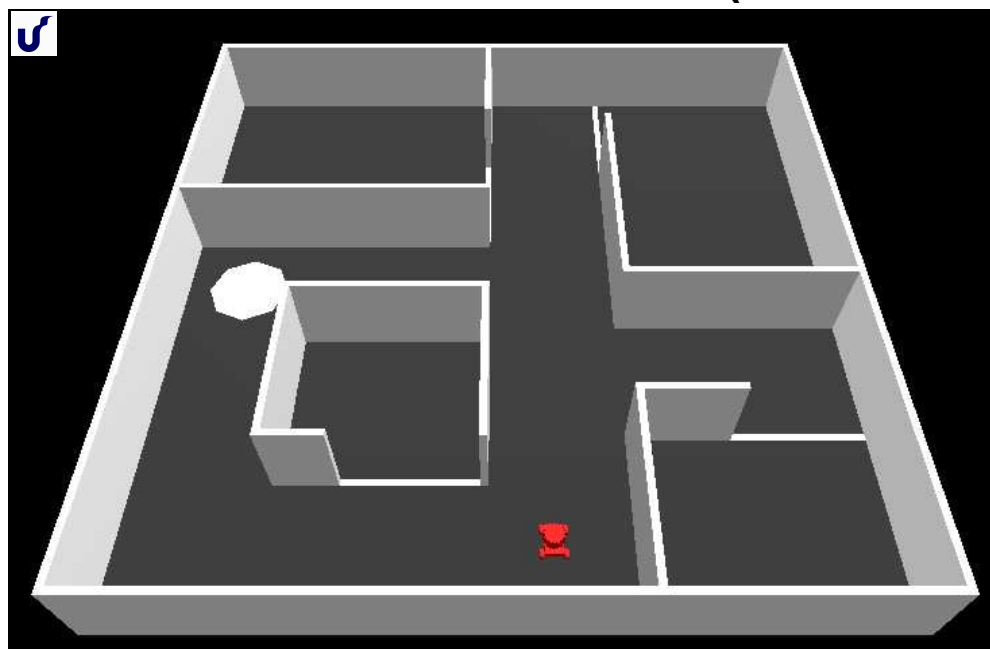
- Qual a posição atual do robô?
- Como garantir que após me deslocar ainda sei onde o robô está?
- Erro e Imprecisão: Translação / Rotação

## Veículos Autônomos Inteligentes Sistemas de Controle Execução de Tarefas

### PROBLEMAS:

#### \* Desvio de Obstáculos

- Obstáculos conhecidos
- Obstáculos desconhecidos (parados)
- Obstáculos desconhecidos (em movimento)

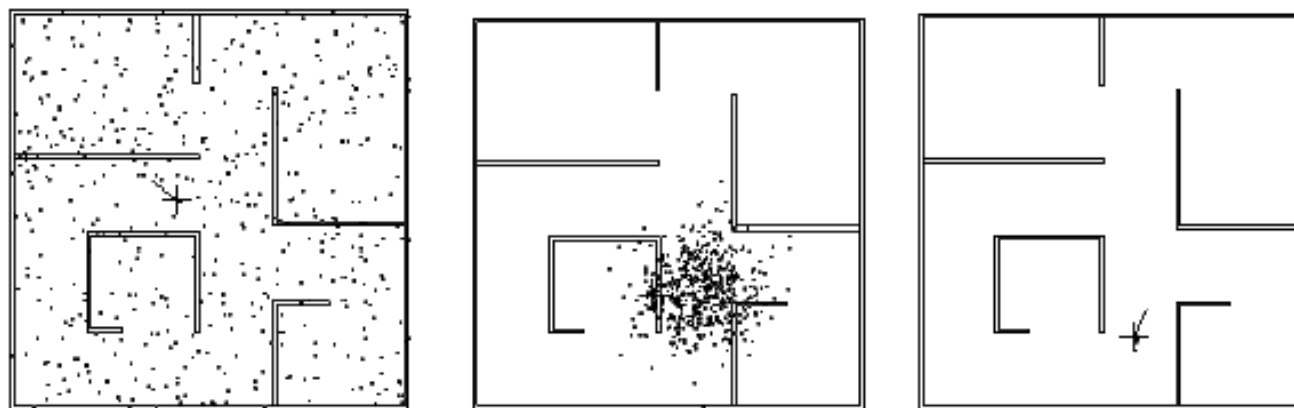


## Veículos Autônomos Inteligentes Sistemas de Controle Execução de Tarefas

### PROBLEMAS:

#### \* Posicionamento

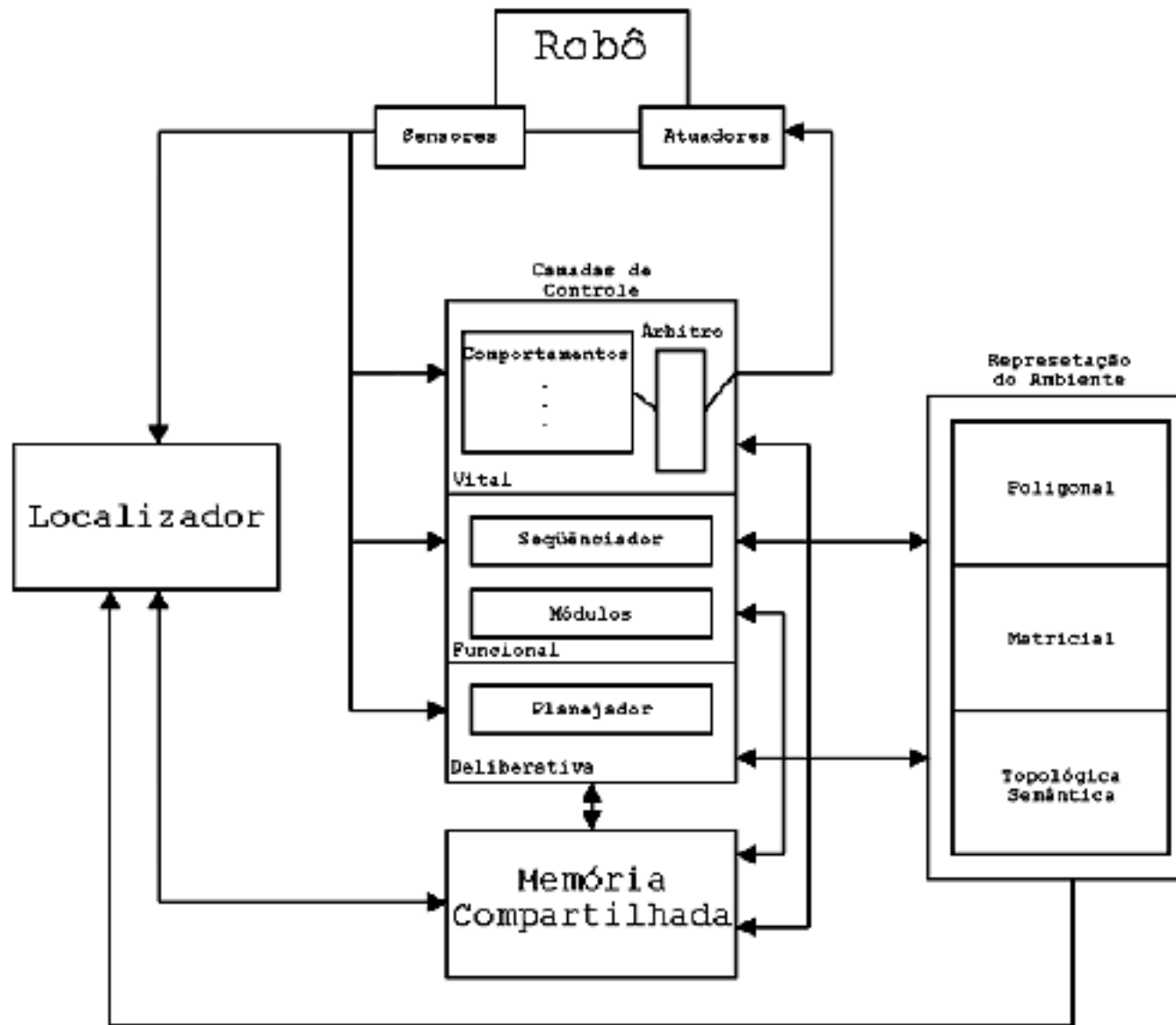
- Qual a posição atual do robô?
- Como garantir que após me deslocar ainda sei onde o robô está?
- Erro e Imprecisão: Translação / Rotação



**Fig. 2.** Sequência de imagens mostrando a evolução da distribuição das partículas durante a localização do robô móvel utilizando o algoritmo Monte Carlo.



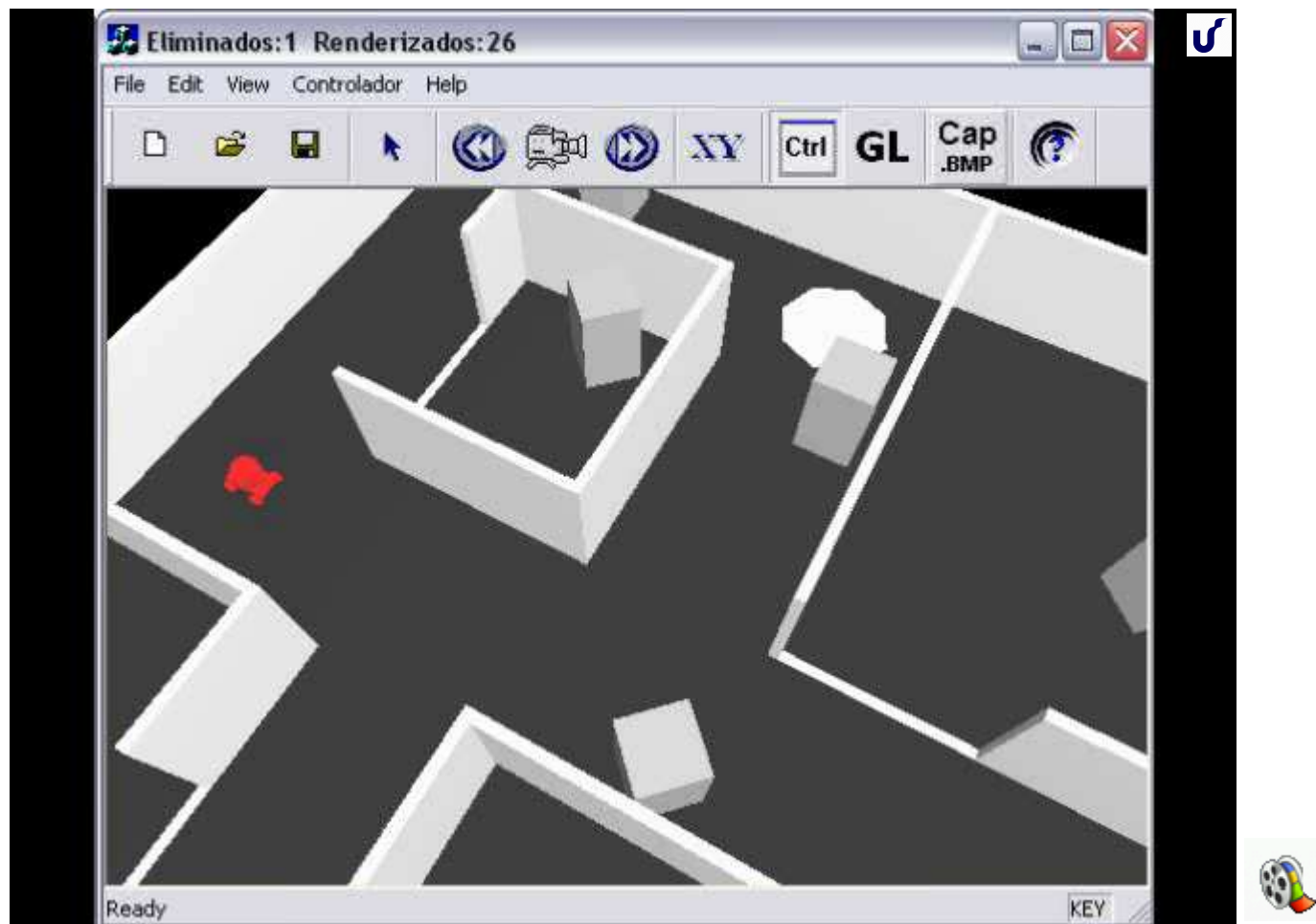
## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

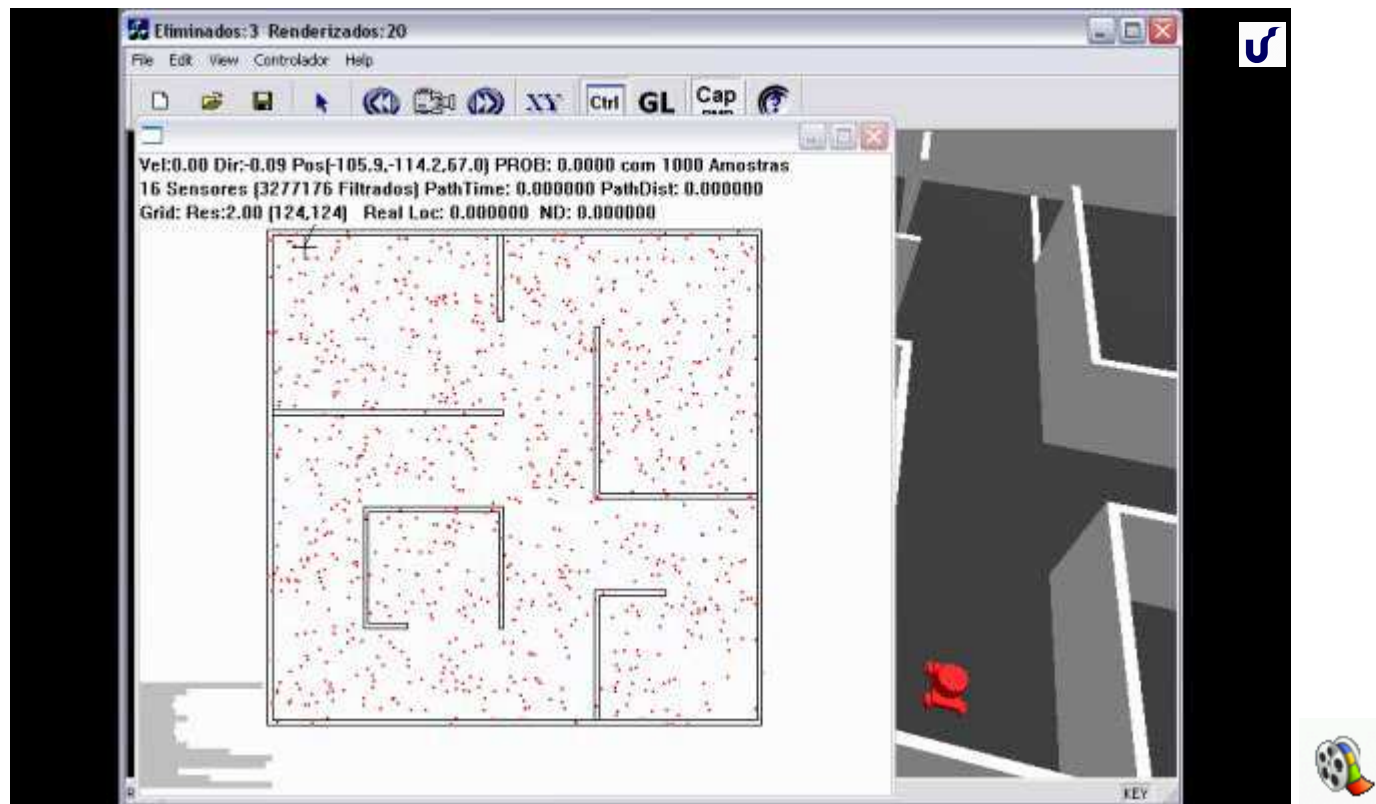
Simulação com o SimRob3D





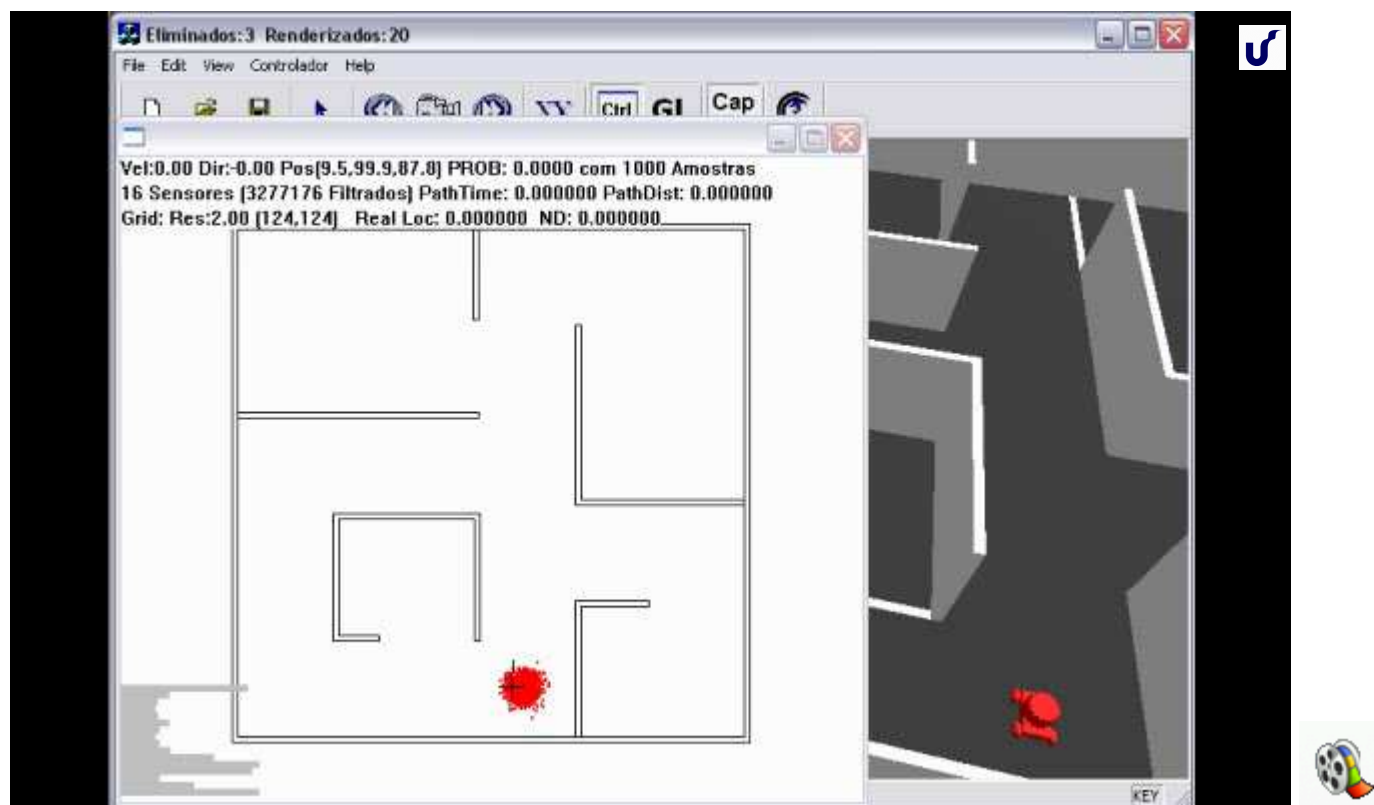
## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

Simulação em Ambiente Estático com Localização Monte Carlo



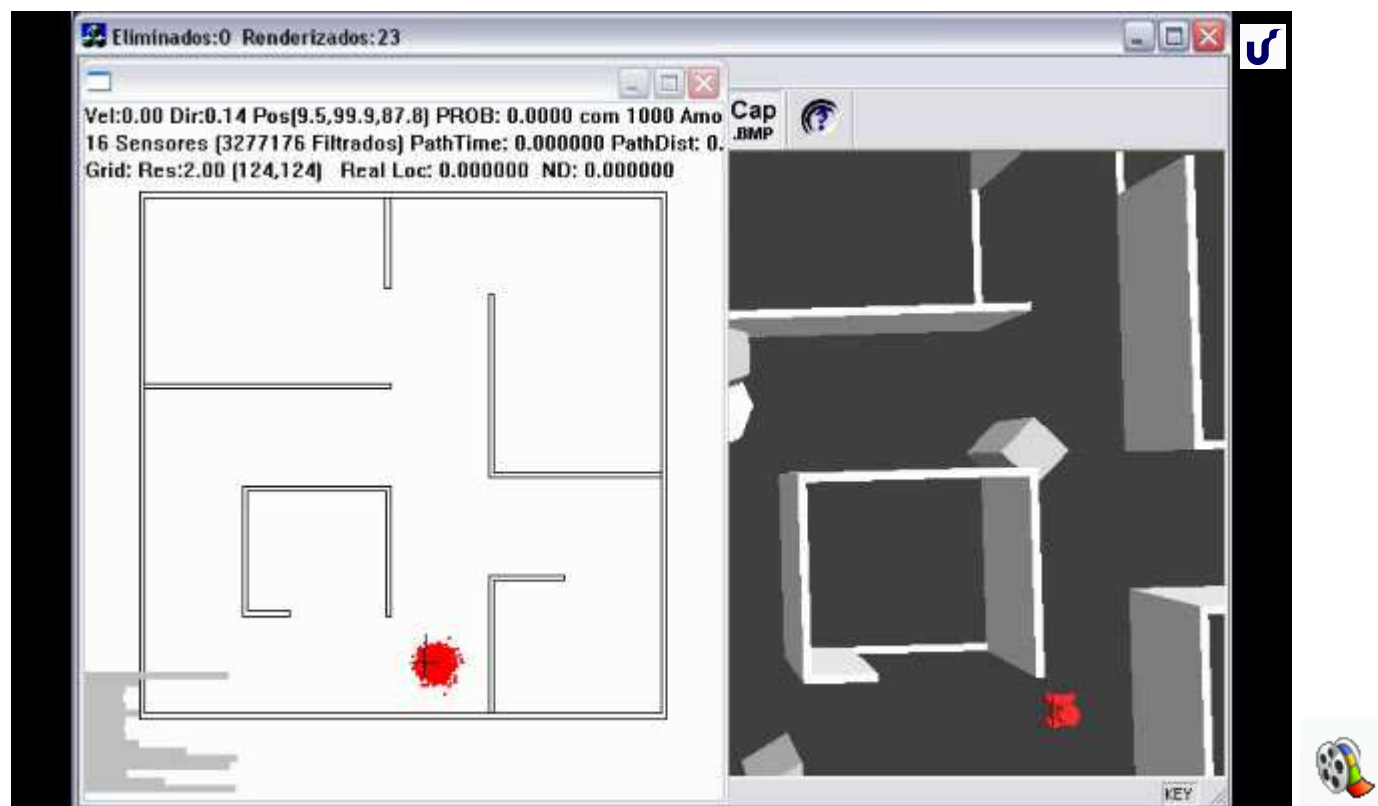
## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

Simulação em Ambiente Estático com Localização Monte Carlo



## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

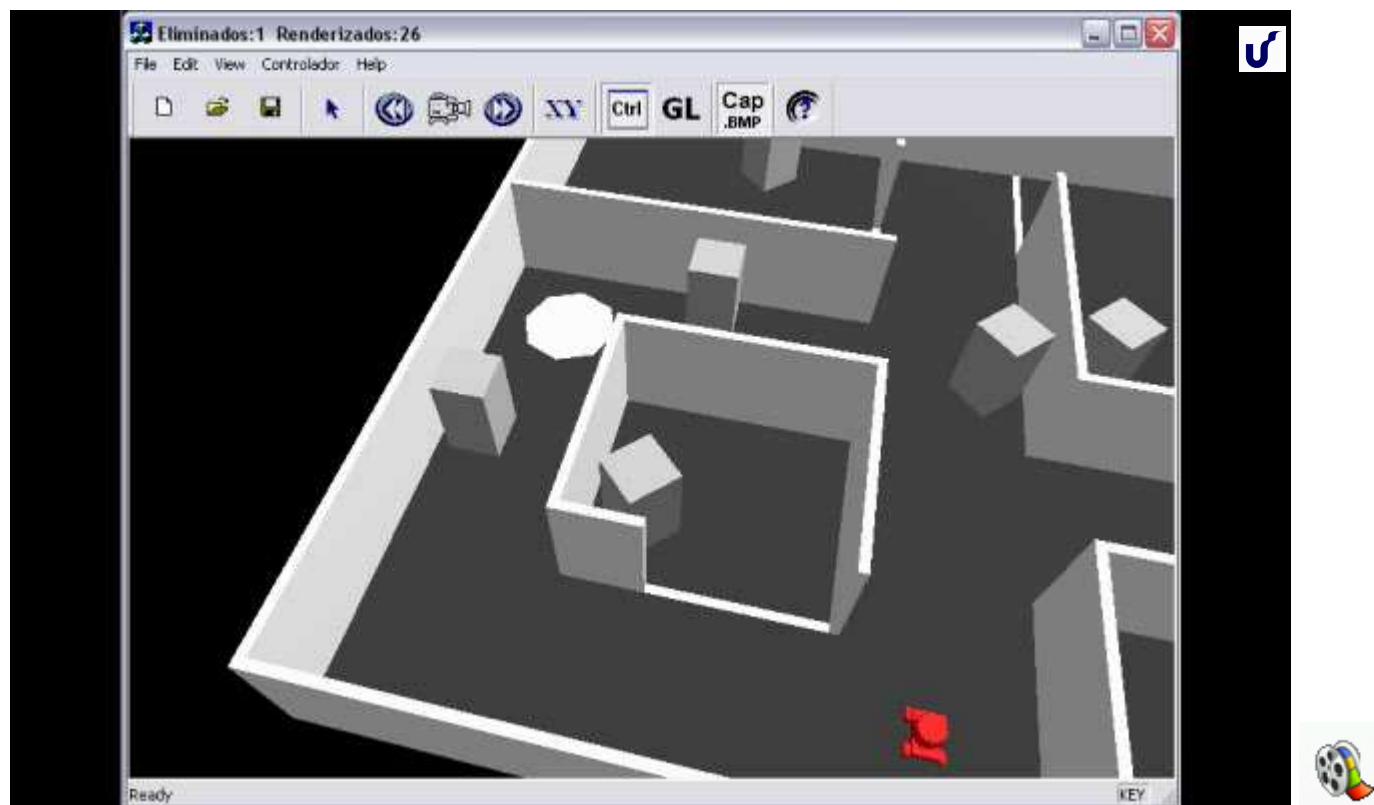
Simulação em Ambiente Alterado em Relação a Representação Interna





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

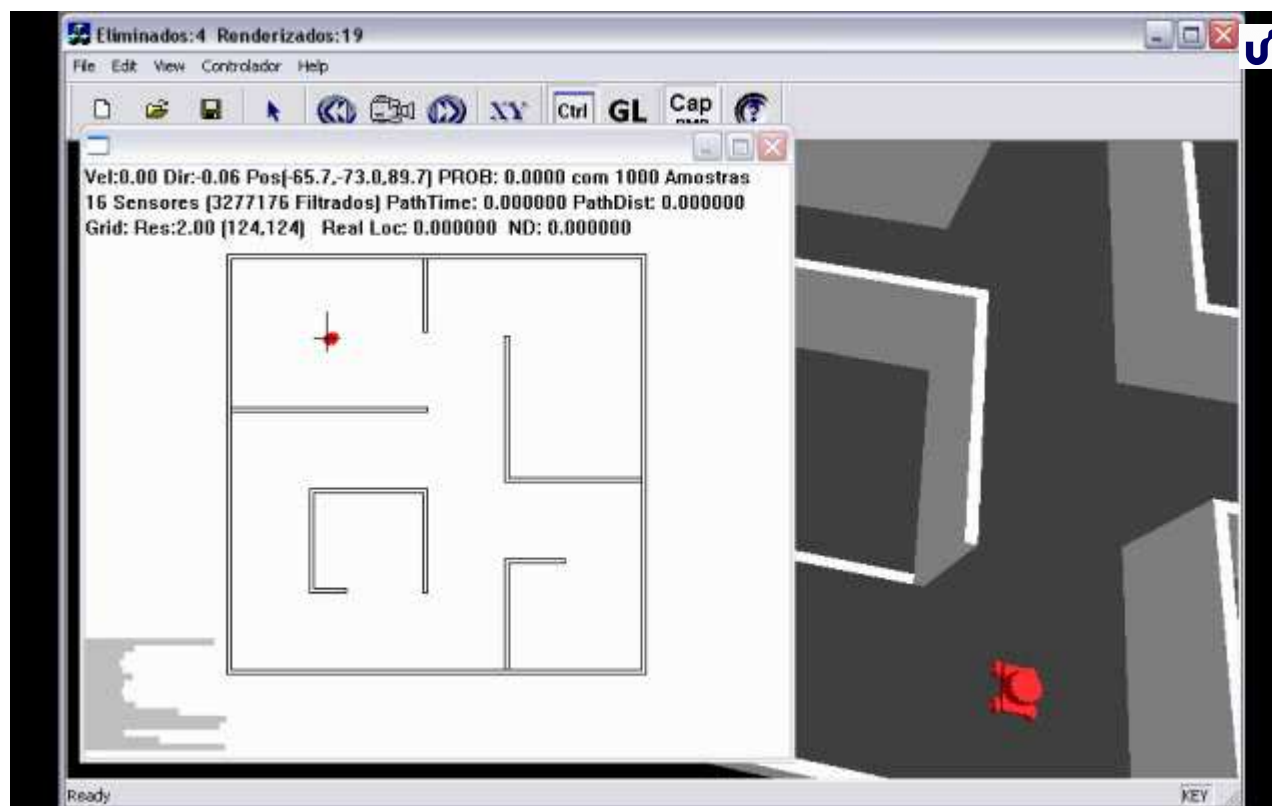
Simulação em Ambiente com Obstáculos Móveis





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

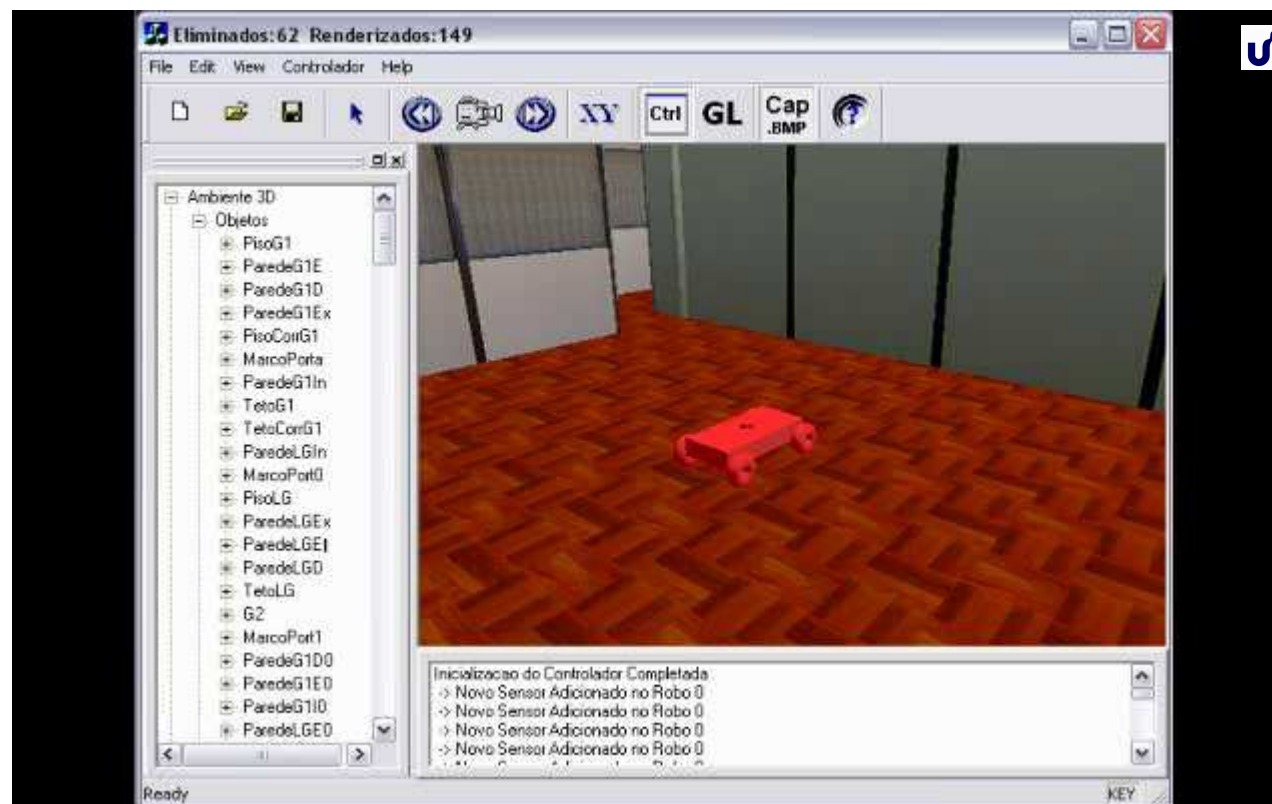
Relocalização com Monte Carlo





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

Ambiente Tridimensional Complexo com Texturas





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

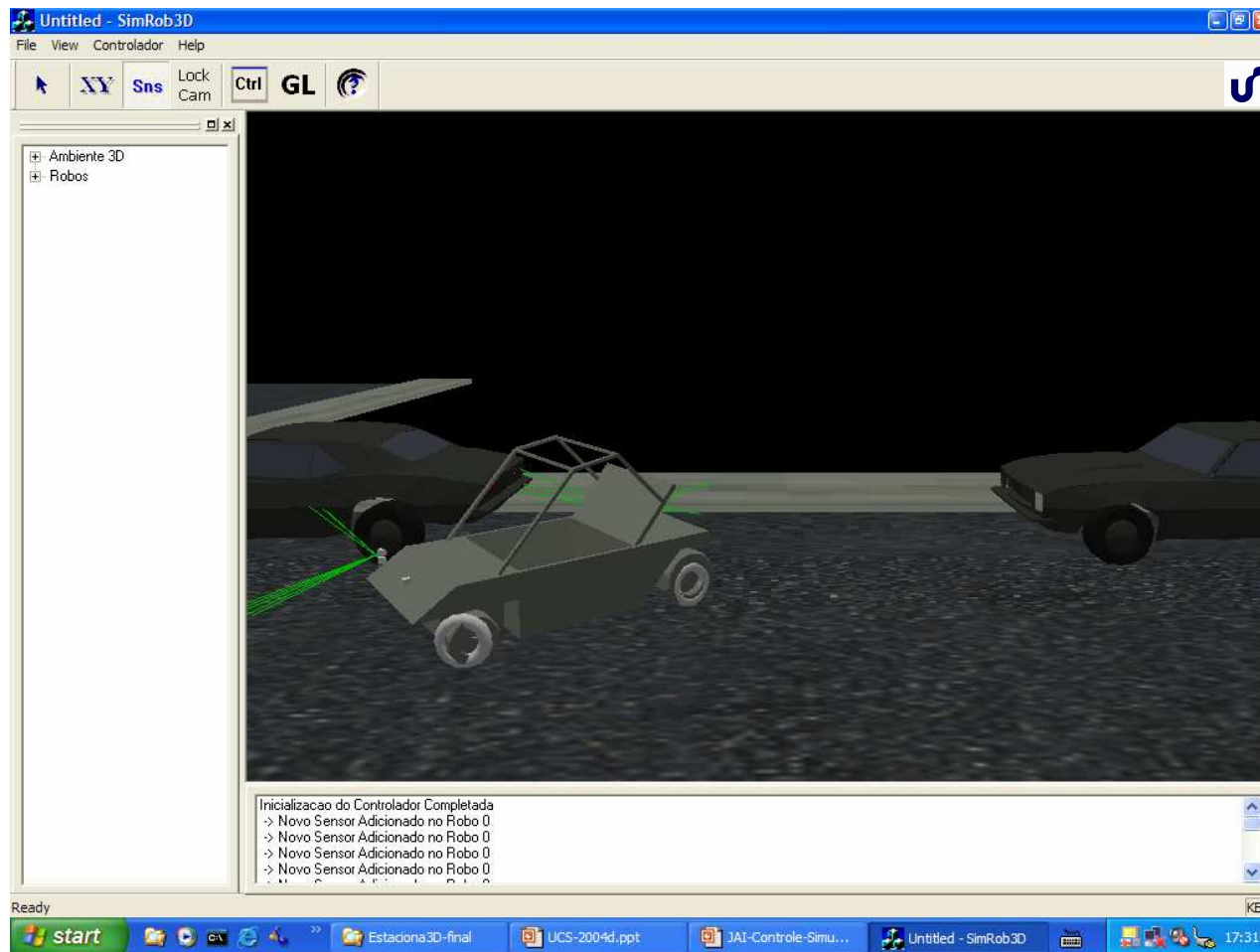
Ambiente Tridimensional Complexo com Texturas





## Controle Híbrido Robusto – COHBRA / SimRob3D

### SEVA 3D





## Veículos Autônomos

### VEÍCULOS AUTÔNOMOS



- VEÍCULOS AUTÔNOMOS
- FOTOS & VÍDEOS
- PUBLICAÇÕES
- CONTATOS

A Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS possui um grupo de pesquisa de nome: *Veículos Autônomos*.

Este grupo multidisciplinar, envolvendo pesquisadores dos Cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Engenharia Mecânica, Engenharia Civil e do Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPICA), desenvolve e implementa tecnologias para automação veicular em *veículos inteligentes*, que podem, por exemplo, mover-se de forma completamente autônoma.



Para alcançar este objetivo maior, diferentes sub-sistemas e tecnologias são desenvolvidos, muitos destes através de parcerias com a indústria.

Dentre os objetivos dos diferentes projetos desenvolvidos pelo grupo destacam-se:

- Desenvolvimento da tecnologia *Drive-By-Wire*.
- Desenvolvimento de *Sistemas de Apoio ao Motorista*.
- Desenvolvimento de *Sistemas de Supervisão e Comando Remotos*.
- Aplicações de *Inteligência Artificial* em robótica móvel.
- Aumento de segurança nas estradas.
- Exploração de locais de difícil acesso.
- Inspecções em ambientes de risco à saúde humana.
- Automatização de sistemas de transporte.
- Automação rural.

Os projetos aqui apresentados visam analisar os diversos tipos de sensores, atuadores, sistemas de controle, sistemas de redes e eletrônica embarcada a serem implementados em Veículos Autônomos.

<http://www.eletrica.unisinos.br/~autonom>



*XXV Congresso da SBC - JAI 2005*  
*Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos*



# UNISINOS

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

**Veículos Inteligentes**

