



**XXIX CONGRESSO DA SOCIEDADE  
BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO**

Os Grandes Desafios Científicos e os  
Impactos da Computação na  
Sociedade

20 A 24 DE JULHO DE 2009  
BENTO GONÇALVES - RS

## **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**



**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

Julho/2009



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

# Fundamentos de Robótica Móvel

- **Introdução à Robótica:**

Robôs Manipuladores e Robôs Móveis

- **Elementos dos Robôs Móveis**

Sensores, Atuadores, Comportamento e Controle

- **Arquiteturas de Controle**

Arquiteturas Reativa, Deliberativa, Hierárquica e Híbrida

- **Modelos de Simulação**

Sensores, Atuadores, Cinemática e Comportamento

- **Ferramentas de Simulação Virtual**

Bibliotecas: OpenGL, SDL, ODE, OSG, GALib, SNNS, Weka...

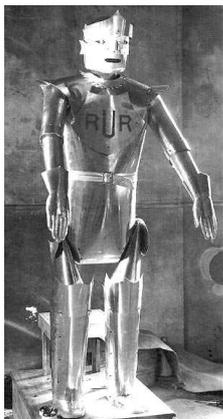
CSBC 2009 - JAI  
# 3 Fundamentos



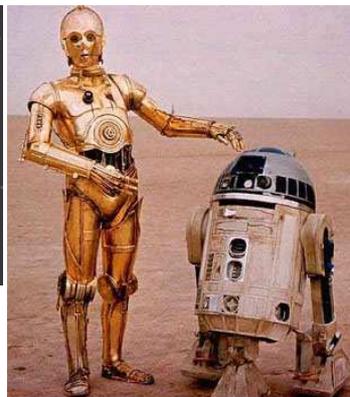
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

# Introdução a Robótica

- **Robôs:** O Início... RUR



Ficção Científica



CSBC 2009 - JAI  
# 4 Intro Robôs



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

## Introdução a Robótica

### • Robôs Manipuladores de Base Fixa:

Braços Manipuladores – Aplicações Industriais



Robôs Soldadores  
Robôs de Pintura  
Exemplos:  
PUMA, KUKA, CanadaARM



CSBC 2009 - JAI  
# 5 Intro Robôs



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

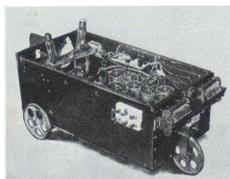
**INCT**  
*SEC*

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

## Introdução a Robótica

### • Robôs Móveis: Robôs com capacidade de deslocamento no ambiente

- \* Robôs Móveis Tele-Operados, Guiados por Marcações (AGV)
- \* Robôs Móveis Semi-Autônomos



Mars Rovers  
AGV – Automated Guided Vehicles  
Robôs Submarinos

1912 - Electric Dog: <http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers.htm>



CSBC 2009 - JAI  
# 6 Intro RMAs



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

# Introdução a Robótica

- **Robôs Móveis:** Robôs com capacidade de deslocamento no ambiente  
Em busca do desenvolvimento de *Robôs Móveis Autônomos e Inteligentes*

History Making Mobile-Robots - HM



History: <http://davidbuckley.net/DB/HistoryMakers.htm>

Nova Geração: Pioneer, iRobot Roomba, Boston Dynamics Big Dog, Sony Aibo, Honda Asimo, Aldebaran NAO



CSBC 2009 - JAI  
# 7 Intro RMAs



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

# Introdução a Robótica

- **Robôs Móveis:** Robôs com capacidade de deslocamento no ambiente  
Em busca do desenvolvimento de *Robôs Móveis Autônomos e Inteligentes*



Nao



Robot Nao from Aldebaran

CSBC 2009 - JAI  
# 8 Fundamentos



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Robôs Móveis



ENDING PAIN WITHOUT SIDE EFFECTS • THE MOUNTAINS THAT SANK

**SCIENTIFIC AMERICAN**

if This is a **PLANET**, Then Why Isn't Pluto?

**DAWN OF THE AGE OF ROBOTS**

**Bill Gates** writes that every home will soon have smart mobile devices

Evolution and Cancer

Can Ethanol Replace Gasoline?

Secret Controls for Genes

Scientific American - January 2007

A Robot in Every Home  
The leader of the PC revolution predicts that the next hot field will be robotics  
**By Bill Gates**

Imagine being present at the birth of a new industry. It is an industry based on groundbreaking new technologies, wherein a handful of well-established corporations sell highly specialized devices for business use and a fast-growing number of start-up companies produce innovative toys, gadgets for hobbyists and other interesting niche products. But it is also a highly fragmented industry with few common standards or platforms. Projects are complex, progress is slow, and practical applications are relatively rare. In fact, for all the excitement and promise, no one can say with any certainty when—or even if—this industry will achieve critical mass. If it does, though, it may well change the world.

Of course, the paragraph above could be a description of the computer industry during the mid-1970s, around the time that Paul Allen and I launched Microsoft.

CSBC 2009 - JAI # 9 Fundamentos

USP ICMC LRM Laboratório de Robótica Móvel

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

## Elementos dos Robôs Móveis

- **Robô Móvel:** Agente capaz de PERCEBER o ambiente e AGIR sobre este ambiente



Percepção:

**Sensores**

Ação:

**Atuadores**

Agente:

**Comportamento**

**Decisão**

**Controle**

CSBC 2009 - JAI # 10 Elementos RMA

USP ICMC LRM Laboratório de Robótica Móvel

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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

Sensor	Principal Função	Exemplos
De Posição e Orientação	Determinar a posição absoluta ou direção de orientação do robô	GPS (Sistema de Posicionamento Global)
		Bússola [Compass]
		Inclinômetro
De Obstáculos	Determinar a distância até um objeto ou obstáculo	Triangulação usando marcas (Beacons)
		Sensor Infra-Vermelho (IR - Infrared)
		Ultrassom (Sonar)
		Radar
De Contato	Determinar o contato com um objeto ou posição de contato com marcação	Sensor Laser (Laser rangefinder)
		Sistemas de Visão Estéreo (Stereo Vision)
		Sensores de Contato (Bumpers, Switches)
De Deslocamento e Velocidade	Medir o deslocamento do robô e medidas relativas da posição e orientação do robô	Antenas e "bigodes" (Animal whiskers)
		Marcações (barreiras óticas e magnéticas)
		Inercial (Giroscópio, Acelerômetros)
		Odômetro (Encoders: Optical, Brush)
Para Comunicação	Envio e recepção de dados e sinais externos (troca de informação)	Potenciômetros (Angular)
		Sensores baseados em Visão
		Sistemas de Visão e Sensores Óticos
Outros tipos	Sensores magnéticos, indutivos, capacitivos, reflexivos	Sistemas de Comunicação (RF)
		Sensores de temperatura, carga (bateria), pressão e força, etc.
	Detectores: detector de movimento, de marcações, de gás/odores	

CSBC 2009 - JAI  
# 11 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
SEC

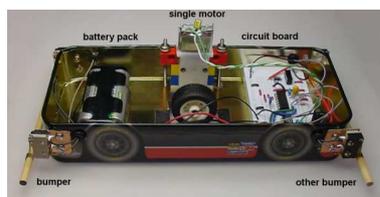
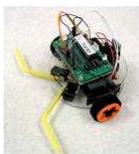
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

### Tipos de Sensores

Sensor do Tipo *Bumper* (Sensor de Contato / "Pára-choque")



CSBC 2009 - JAI  
# 12 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
SEC

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

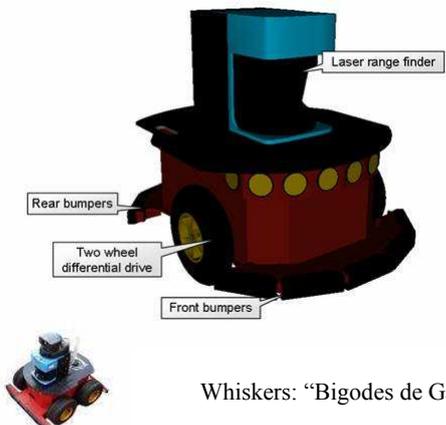
## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Sensores

**Sensor do Tipo *Bumper* (Sensor de Contato / “Pára-choque”)**



Whiskers: “Bigodes de Gato”






CSBC 2009 - JAI  
# 13 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

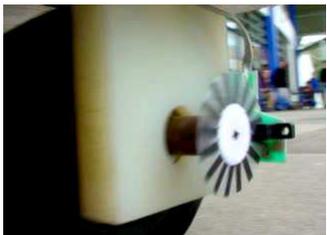
### Tipos de Sensores

**Sensores do tipo Encoder/Odômetro**



Encoder









Encoder: Controle do giro da roda

CSBC 2009 - JAI  
# 14 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Sensores

#### Sensores Infra-Vermelho (IR)

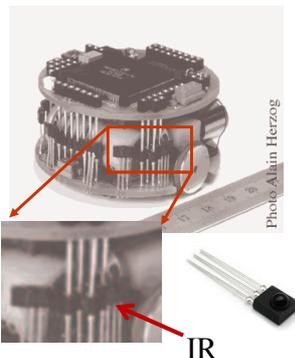
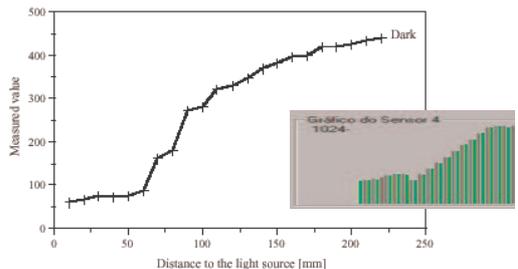


Photo Alain Herzog

Khepera IR

•Características dos Sensores Infra-Vermelho do Khepera:

- Sensibilidade a luz ambiente/ Reflexão da Luz
- Distância: 50 a 500mm (aproximadamente)
- Valor lido: 0..450 (aproximadamente)
- Dependente de: Potência = 1 Watt
- Ângulo = -180 a +240 graus



Measured value

Distance to the light source [mm]

Gráfico do Sensor 4 1024

Typical measurement of the ambient light versus the distance of a light source of 1 Watt. As it can be seen, the measured value decreases when the intensity of the light increases. The standard value in the dark is around 450. The measurement of the ambient light versus the angle between the forward direction of the robot and the direction of the light has the shape illustrated in figure 10.

CSBC 2009 - JAI  
# 15 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



**INCT SEC**

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

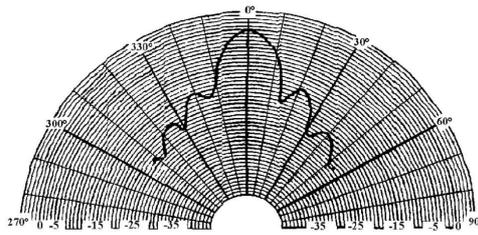
## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Sensores

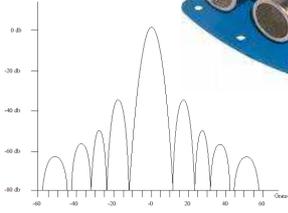
#### Sensores Ultra-Som (Sonar)











CSBC 2009 - JAI  
# 16 Elementos RMA



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



**INCT SEC**

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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Sensores

#### Sensores LASER (Lidar - Light Detection and Ranging)

Wikipedia: Lidar

CSBC 2009 - JAI  
# 17 Elementos RMA

USP  
ICMC  
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Sensores

#### Sensores LASER (Lidar)

SICK  
IBEO  
VELODYNE

LMS211

last value      first value

Scanning angle 100°

LMS200/LMS221/LMS291

last value      first value

Scanning angle 180°

Fig. 5-1: Direction of transmission and maximum scanning angle (standard devices) on top view of the devices

CSBC 2009 - JAI  
# 18 Elementos RMA

USP  
ICMC  
**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

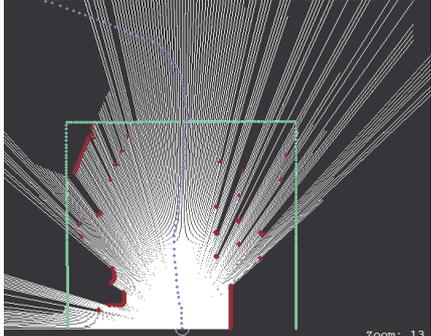
### Tipos de Sensores

**Sensores LASER (Lidar) + GPS + Câmera**

Veículo equipado com Laser SICK LMS2xx    Resolução: ~10 mm  
 Distância Máxima: 80 mts - Varredura: 180° de 0.5 em 0.5 graus

Projeto Sena





Zoom: 1.3.



Sw-Demo

Sensores: Laser SICK, GPS, Câmera de Vídeo    Adicional: Bússola, IMU (Inercial)

CSBC 2009 - JAI  
# 19 Elementos RMA




Laboratório de Robótica Móvel



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

## Elementos dos Robôs Móveis

Percepção:  
**Sensores**

---

### Tipos de Atuadores

**Atuadores mais comuns...**

- **Motor DC**
- **Motor de Passo (Step-Motor)**





Servomotor

Atuador	Principal Tipo/Função	Exemplos
Base Fixa	Braço robótico com base fixa	Robôs industriais PUMA
Base Móvel: Rodas	2 Rodas independentes (diferencial)	Robôs Khepera e Pioneer 3-DX
	3 Rodas (triciclo, omni-directionais)	Robô BrainStem PPRK
	4 Rodas (veículos robóticos - ackermann)	Stanley - Stanford (Darpa Challenge)
Base Móvel: Esteira	Esteira (Slip/Skid locomotion - tracks)	Tanques e veículos militares
Base Móvel: Juntas e Articulações	Bípedes	Robôs Humanóides
Base Móvel: Propulsão	4 Patas (quadpods)	Robôs Sony Aibo, BigDog
	6 Patas (hexapods)	Robôs Inseto (Lynxmotion Hexapods)
Hélices ou Turbinas	Veículos aéreos com hélices	Aviões, Helicópteros e Dirigíveis
	Veículos aquáticos com hélices	Barcos autônomos
	Veículos sub-aquáticos	Submarinos autônomos
Outros tipos	Braços manipuladores com base móvel	Garras (Grippers) embarcadas
	Garras com ou sem feed-back sensorial	Mão robótica
	Mecanismos de disparo	Disparo do chute (futebol de robôs)

CSBC 2009 - JAI  
# 20 Elementos RMA




Laboratório de Robótica Móvel



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

## Elementos dos Robôs Móveis

Ação:  
**Atuadores**

---

### Tipos de Atuadores

**Atuadores**

- Aceleração
- Limite de Velocidade
- Inércia

**ACIONAMENTO**

- AC/DC Servo Motors
- Step Motors

**MALHA DE CONTROLE**

- Open Loop
- Closed Loop: P, PI, PID

SET POINT

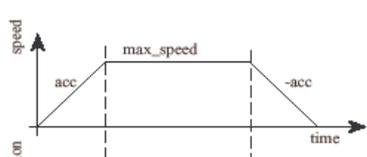
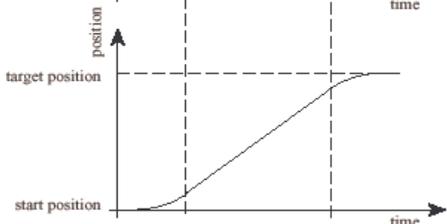



Figure 7: Speed profile used to reach a target position with a fixed acceleration (acc) and a maximal speed (max speed).

CSBC 2009 - JAI  
# 21 Elementos RMA


LRM  
Laboratório de Robótica Móvel


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

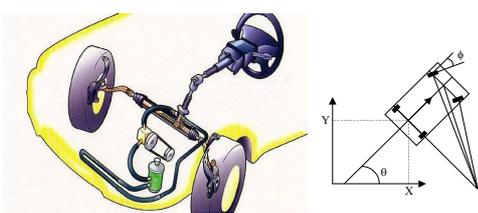
## Elementos dos Robôs Móveis

Ação:  
**Atuadores**

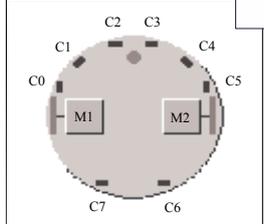
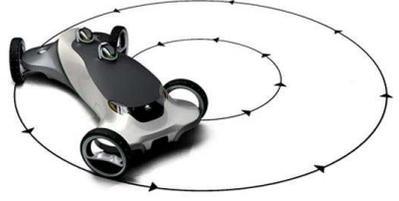
---

### Tipos de Atuadores

**Atuadores: Robôs Móveis**





CSBC 2009 - JAI  
# 22 Elementos RMA


LRM  
Laboratório de Robótica Móvel


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

## Arquiteturas de Controle

### Comportamentos: Controle de Robôs

Robôs Móveis:  
Agentes Autônomos dotados de  
SENSORES e ATUADORES



Percepção:  
**Sensores**  
Ação:  
**Atuadores**  
Agente:  
**Comportamento**  
**Decisão**  
**Controle**

### Integração Sensorial-Motora



Como Agir?

Como Interpretar  
as Percepções?

Como Tomar Decisões?

CSBC 2009 - JAI  
# 23 Arquiteturas



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

## Arquiteturas de Controle

### Arquitetura REATIVA [Pura]

**Reativo:** Percepção  $\Rightarrow$  Ação

- Reage diretamente aos estímulos externos;
- Esquema sensorio-motor;

Comportamentos Típicos: *Reactive Behaviour*

- Vagar pelo ambiente, evitando colisões e obstáculos;
- Acompanhar uma parede ou corredor;
- Comportamento direcionado pela luz;
- Ir em direção a uma determinada orientação

Composição de Comportamentos: Direção x Obstáculo

CSBC 2009 - JAI  
# 24 Arquiteturas

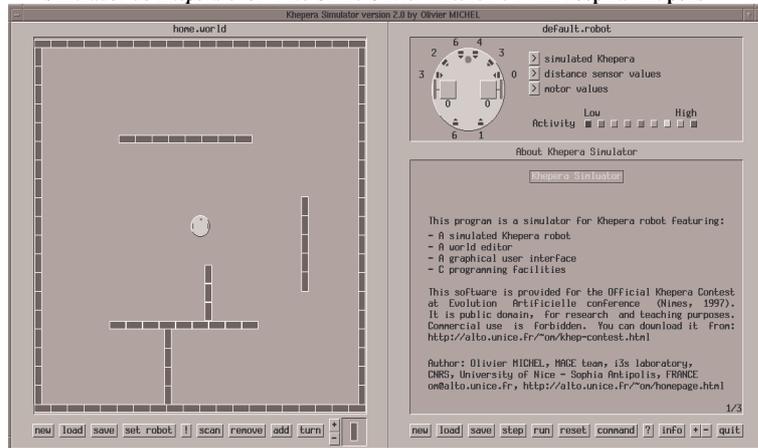


Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

## Arquiteturas de Controle

### Arquitetura REATIVA [Pura]

Simulador do Khepera / SIM 2.0 Unix / Olivier Mitchell / INRIA Sophia Antipolis



Sensores: 8 IR / Atuadores: 2 motores com cinemática diferencial

1997/98

CSBC 2009 - JAI  
# 25 Arquiteturas



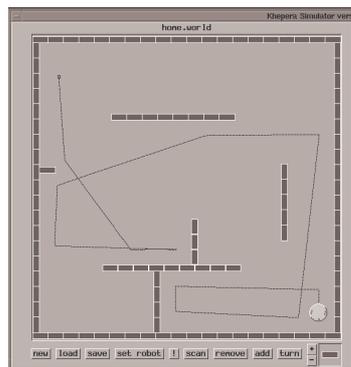
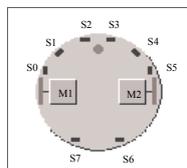
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos

## Arquiteturas de Controle

### Arquitetura REATIVA [Pura]

• Reativo: Integração Sensorial-Motora

Controle Reativo



Evitar colisões e obstáculos

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)

Sensorial-Motor: Sentir => Agir

CSBC 2009 - JAI  
# 26 Arquiteturas



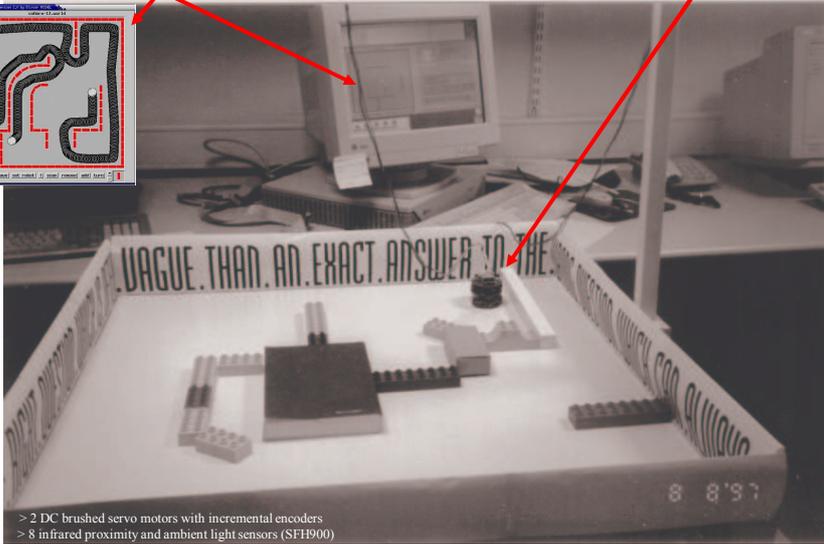
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos

### Arquitetura de Controle: **Reativo**

Simulador do *Khepera*



Robô *Khepera*



> 2 DC brushed servo motors with incremental encoders  
 > 8 infrared proximity and ambient light sensors (SFH900)

CSBC 2009 - JAI  
# 27 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

### Arquitetura de Controle: **Reativo**

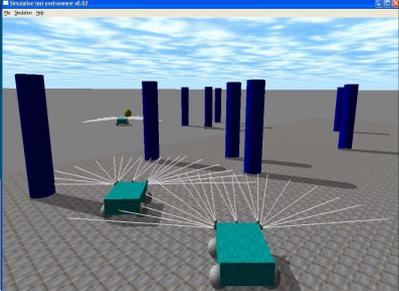
#### Navegação: Direcionamento + Desvio de Obstáculos



Simulador Robombeiros:  
[Http://pessin.googlepages.com](http://pessin.googlepages.com)

Simulador Robombeiros

Desvio



CSBC 2009 - JAI  
# 28 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Arquitetura de Controle: **Reativo**

### Aplicações práticas comerciais:



Reativo



CSBC 2009 - JAI  
# 29 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Arquiteturas de Controle

### Arquitetura **DELIBERATIVA** [Pura]

**Deliberativo:** Planejamento => Sequência de Ações

- Possui conhecimento sobre a situação do robô e do ambiente;
- Usualmente baseado no uso de mapas e planejamento de trajetórias.

Comportamentos Típicos: *Deliberative Behaviour*

- Execução de scripts de ações planejadas previamente;
- Executar uma sequência de ações previamente determinada;
- Seguir trajetórias especificadas com uso de mapas;
- Execução de Tarefas de Alto Nível;

CSBC 2009 - JAI  
# 30 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Arquiteturas de Controle

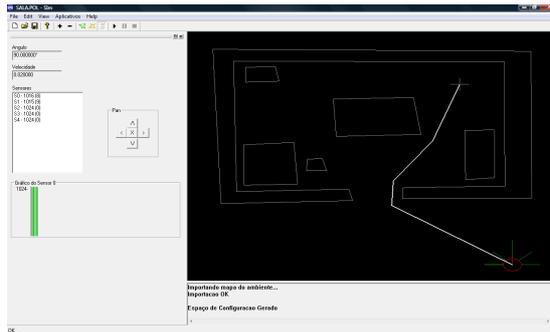
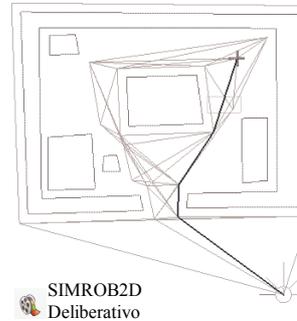
### Arquitetura DELIBERATIVA [Pura]

**SIMROB2D - Referência:**

Farlei Heinen (Orientador: Fernando Osório)

Robótica Autônoma: A integração entre planificação e comportamento reativo. 2000.

Robô tipo Khepera: Sensores: 5 IR / Atuadores: 2 motores (diferencial)



CSBC 2009 - JAI  
# 31 Arquiteturas



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

## Arquiteturas de Controle

CONTROLE: Arquiteturas **Reativas**

Abordagens “puras”

CONTROLE: Arquiteturas **Deliberativas**



**Ambas possuem  
problemas e limitações!**

**Solução?**

**Buscar aproveitar o que de melhor tem cada  
uma das duas abordagens...**

**ARQUITETURA HIERÁRQUICA  
ARQUITETURA HÍBRIDA**

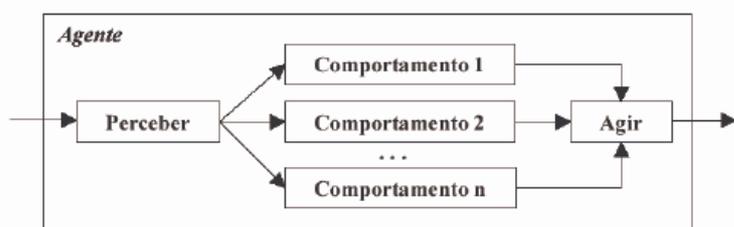
CSBC 2009 - JAI  
# 32 Arquiteturas



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

## Arquiteturas de Controle

### Controle Hierárquico



#### Hierarquia de Comportamentos:

- Evitar/Desviar de obstáculos
- Seguir em uma determinada direção
- Seguir uma determinada rota

CSBC 2009 - JAI  
# 33 Arquiteturas



INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Arquiteturas de Controle

### Controle Hierárquico: Vertical

#### Brooks - Arquitetura Subsumption

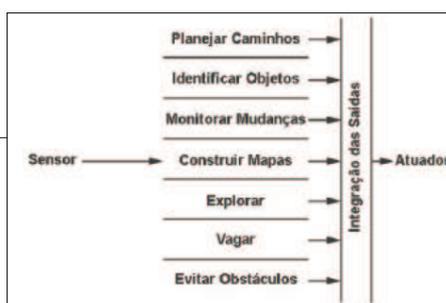
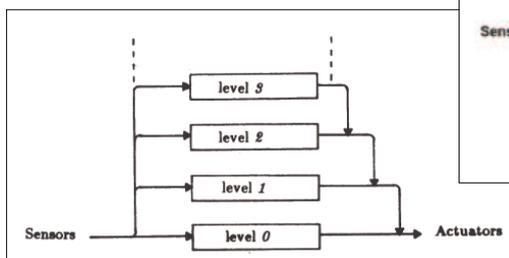


Figure From:  
Brooks, R. A.  
MIT A.I. Memo 864  
Sept. 1985

CSBC 2009 - JAI  
# 34 Arquiteturas



INCT  
SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Arquiteturas de Controle

### Controle Hierárquico: Horizontal

#### Arquiteturas Hierárquicas

##### SMPA

“Sense” – “Model” - “Plan” - “Act”



SMPA: Decomposição tradicional do sistema de controle de um robô móvel em módulos funcionais

CSBC 2009 - JAI  
# 35 Arquiteturas



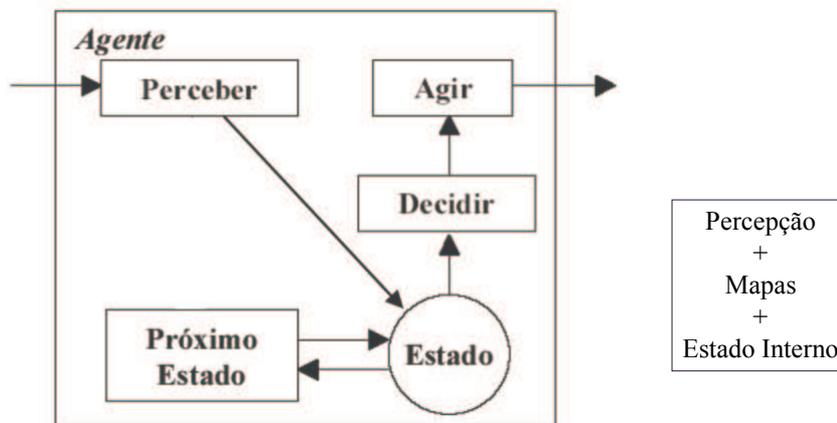
INCT  
SEC

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

## Arquiteturas de Controle

### Arquiteturas Híbridas

Controle Híbrido: Arquitetura com Estados Internos (Autômato)

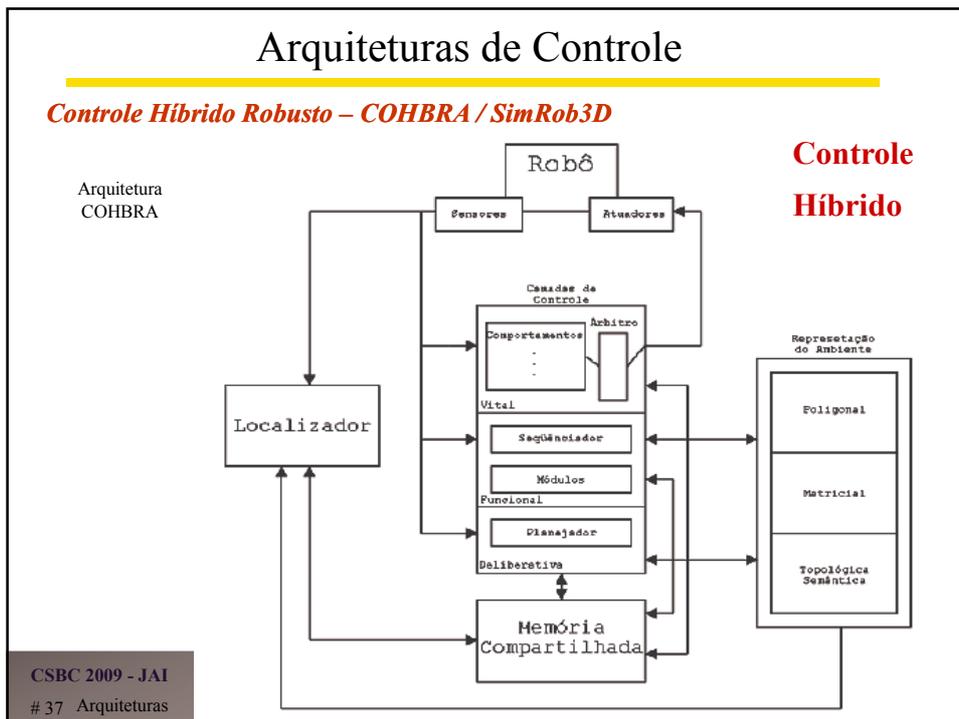


CSBC 2009 - JAI  
# 36 Arquiteturas



INCT  
SEC

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



### Modelos de Simulação

---

**Modelagem: Sensores e Atuadores**

**Sensores**

- Infra-Vermelho
- Sonar
- Laser
- GPS
- Odômetro
- Vídeo

SimRob2D

CSBC 2009 - JAI  
# 38 Arquiteturas

## Modelos de Simulação

### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Sensores

- Infra-Vermelho
- Sonar
- Laser
- GPS
- Odômetro
- Vídeo



CSBC 2009 - JAI  
# 39 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

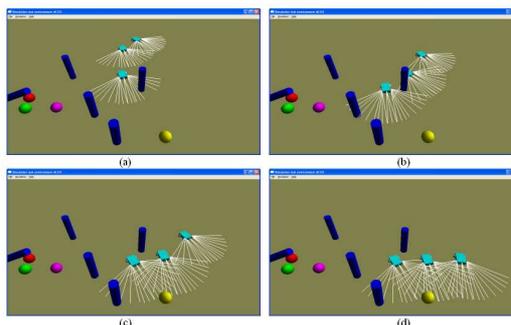
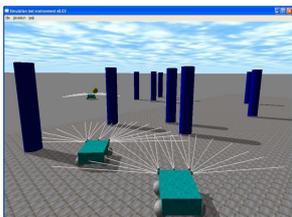
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em **Sistemas Embarcados Críticos**

## Modelos de Simulação

### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Sensores

- Infra-Vermelho
- Sonar
- Laser
- GPS
- Odômetro



Seqüências de uma simulação com navegação e desvio satisfatórios  
Robombeiros

CSBC 2009 - JAI  
# 40 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

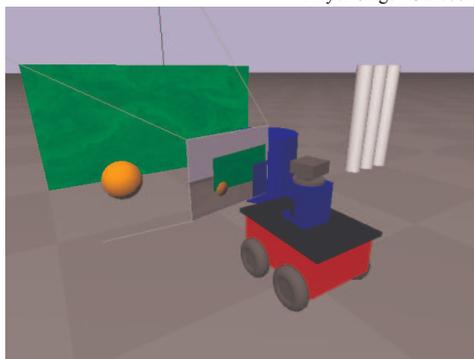
## Modelos de Simulação

### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Sensores

- Infra-Vermelho
- Sonar
- Laser
- GPS
- Odômetro
- Vídeo

Player-Stage- Gazebo



CSBC 2009 - JAI  
# 41 Arquiteturas



INCT SEC

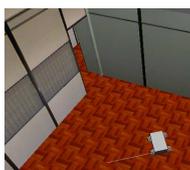
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Modelos de Simulação

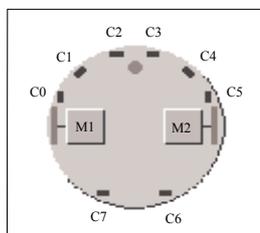
### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Atuadores

- Rodas
- Esteiras
- Pernas/Patas

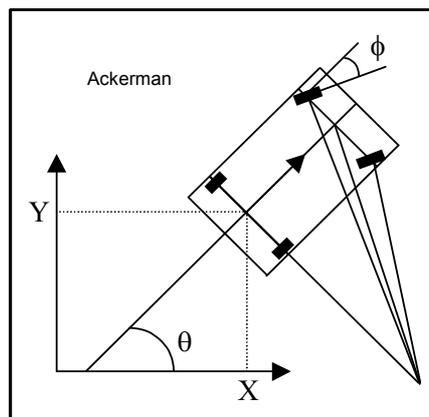


Diferencial



#### Cinemática do Robô

Kinematics



CSBC 2009 - JAI  
# 42 Arquiteturas



INCT SEC

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Sistemas Embarcados Críticos

## Modelos de Simulação

### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Atuadores

- Rodas
- Esteiras
- Pernas/Patas

Cinemática do Robô

Dinâmica do Robô



CSBC 2009 - JAI  
# 43 Arquiteturas



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

## Modelos de Simulação

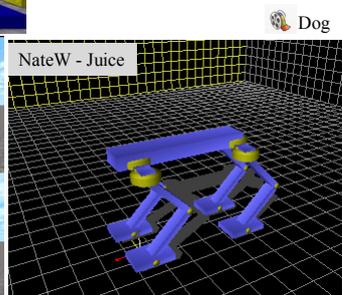
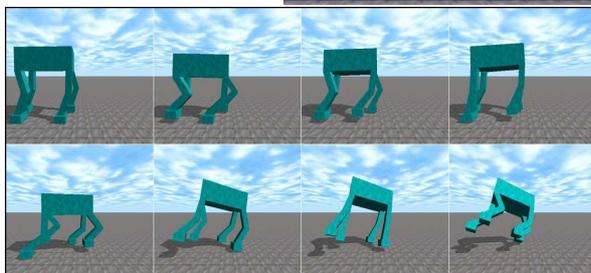
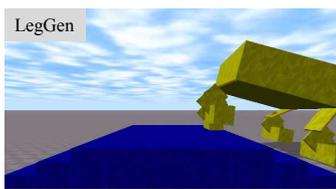
### Modelagem: Sensores e Atuadores

#### Atuadores

- Rodas
- Esteiras
- Pernas/Patas

Cinemática do Robô

Dinâmica do Robô



CSBC 2009 - JAI  
# 44 Arquiteturas



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

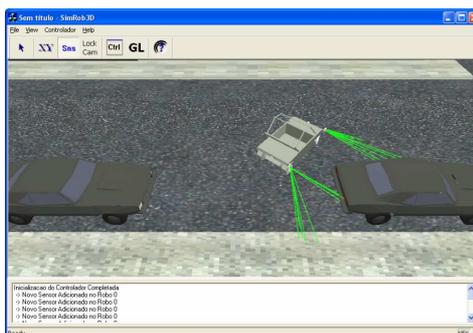
## Ferramentas de Simulação Virtual

**Bibliotecas:**

- OpenGL
- SDL
- ODE
- OSG
- GALib
- SNNS
- Weka

- Simuladores Completos

- Visualização 2D e 3D
- Simulação Sensores/Atuadores
- Simulação Física: Cinemática e Dinâmica
- Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado



Seva3D

CSBC 2009 - JAI  
# 45 Arquiteturas



## Ferramentas de Simulação Virtual

**Bibliotecas:**

- OpenGL
- SDL
- ODE
- OSG
- GALib
- SNNS
- Weka

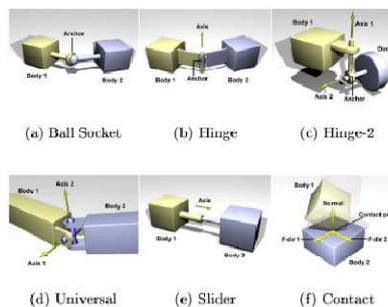
- Simuladores Completos

- Visualização 2D e 3D
- Simulação Sensores/Atuadores
- Simulação Física: Cinemática e Dinâmica
- Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado

ODE  
Open Dynamics Engine

Rigid Body Physics Simulation:  
Gravity, inertia, friction, collision,  
joints, actuators, etc

<http://www.ode.org/>  
Physics Engine



CSBC 2009 - JAI  
# 46 Arquiteturas



## Ferramentas de Simulação Virtual

### Bibliotecas:

OpenGL

SDL

ODE

OSG

GALib

SNNS

Weka

Simuladores

Completos

Visualização 2D e 3D

Simulação Sensores/Atuadores

Simulação Física: Cinemática e Dinâmica

Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado



CSBC 2009 - JAI  
# 47 Arquiteturas



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

## Ferramentas de Simulação Virtual

### Bibliotecas:

OpenGL

SDL

ODE

OSG

GALib

SNNS

Weka

Simuladores

Completos

Visualização 2D e 3D

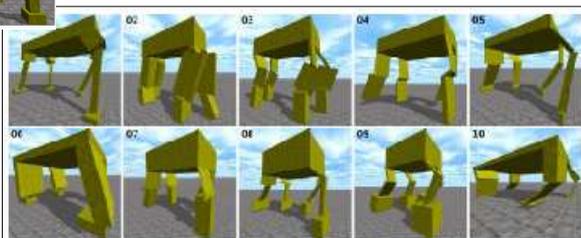
Simulação Sensores/Atuadores

Simulação Física: Cinemática e Dinâmica

Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado



LegGen



CSBC 2009 - JAI  
# 48 Arquiteturas



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

## Ferramentas de Simulação Virtual

### Bibliotecas:

OpenGL

SDL

ODE

OSG

GALib

SNNS

Weka

Simuladores

Completos

Visualização 2D e 3D

Simulação Sensores/Atuadores

Simulação Física: Cinemática e Dinâmica

Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado



Hoap



CSBC 2009 - JAI  
# 49 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Ferramentas de Simulação Virtual

### Bibliotecas:

OpenGL

SDL

ODE

OSG

GALib

SNNS

Weka

Simuladores

Completos

Visualização 2D e 3D

Simulação Sensores/Atuadores

Simulação Física: Cinemática e Dinâmica

Controle Inteligente: Evolução e Aprendizado



Simulated Car Racing

The simulated car racing competition of CIG-2009 is the final event of the 2009 Simulated Car Racing Championship, an event joining the three competitions held at CEC-2009, GECCO-2009, and CIG-2009.

<http://www.ieee-cig.org/Competitions>



CSBC 2009 - JAI  
# 50 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel

**INCT**  
*SEC*

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

## Ferramentas de Simulação Virtual

---

**Bibliotecas:**

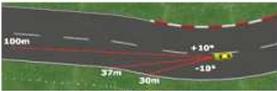
- OpenGL
- SDL
- ODE
- OSG
- GALib
- SNNS
- Weka

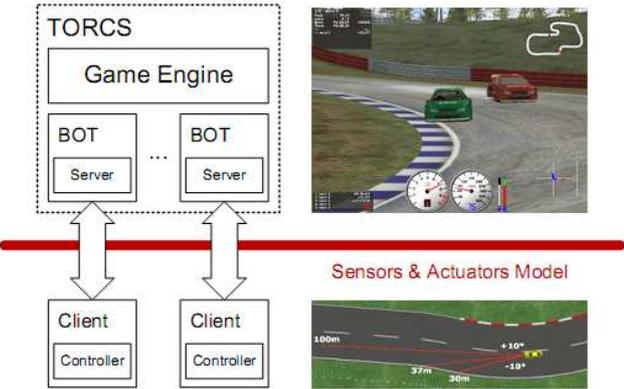
**Simuladores**

**Completos**

**TORCS:**  
The Open Racing Car Simulator  
<http://torcs.sourceforge.net/>







CSBC 2009 - JAI  
# 51 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

## Ferramentas de Simulação Virtual

---

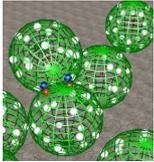
**Bibliotecas:**

- OpenGL
- SDL
- ODE
- OSG
- GALib
- SNNS
- Weka

**Simuladores**

**Completos**

**Simulação:**  
Sem Limites!





Claytronics – <http://www.cs.cmu.edu/~claytronics/>

CSBC 2009 - JAI  
# 52 Arquiteturas



**LRM**  
Laboratório de Robótica Móvel



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

OBRIGADO!



**LRM**

*Laboratório de Robótica Móvel*

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

Denis Fernando Wolf – [denis@icmc.usp.br](mailto:denis@icmc.usp.br)  
Eduardo do Valle Simões – [simoes@icmc.usp.br](mailto:simoes@icmc.usp.br)  
Fernando Santos Osório - [fosorio@icmc.usp.br](mailto:fosorio@icmc.usp.br)  
Onofre Trindade Junior - [otjunior@icmc.usp.br](mailto:otjunior@icmc.usp.br)

**F.Osório: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio](http://www.icmc.usp.br/~fosorio) [Login: “usp” Password: “guest” ]**

CSBC 2009 - JAI  
# 53 FINAL



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