



Aula 1 – Introdução à Robótica Móvel

Introdução

Prof. Assoc. Marcelo Becker

SEM - EESC - USP

Laboratório de Robótica Móvel

LabRoM

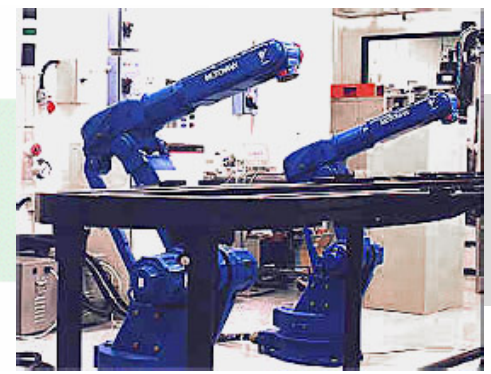
Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Sumário da Aula

- **Histórico**
- Aplicações
- Problemas Básicos
- Desafios e Tendências
- Exemplos - Vídeos
- Bibliografia Recomendada

Histórico

Dos manipuladores industriais...



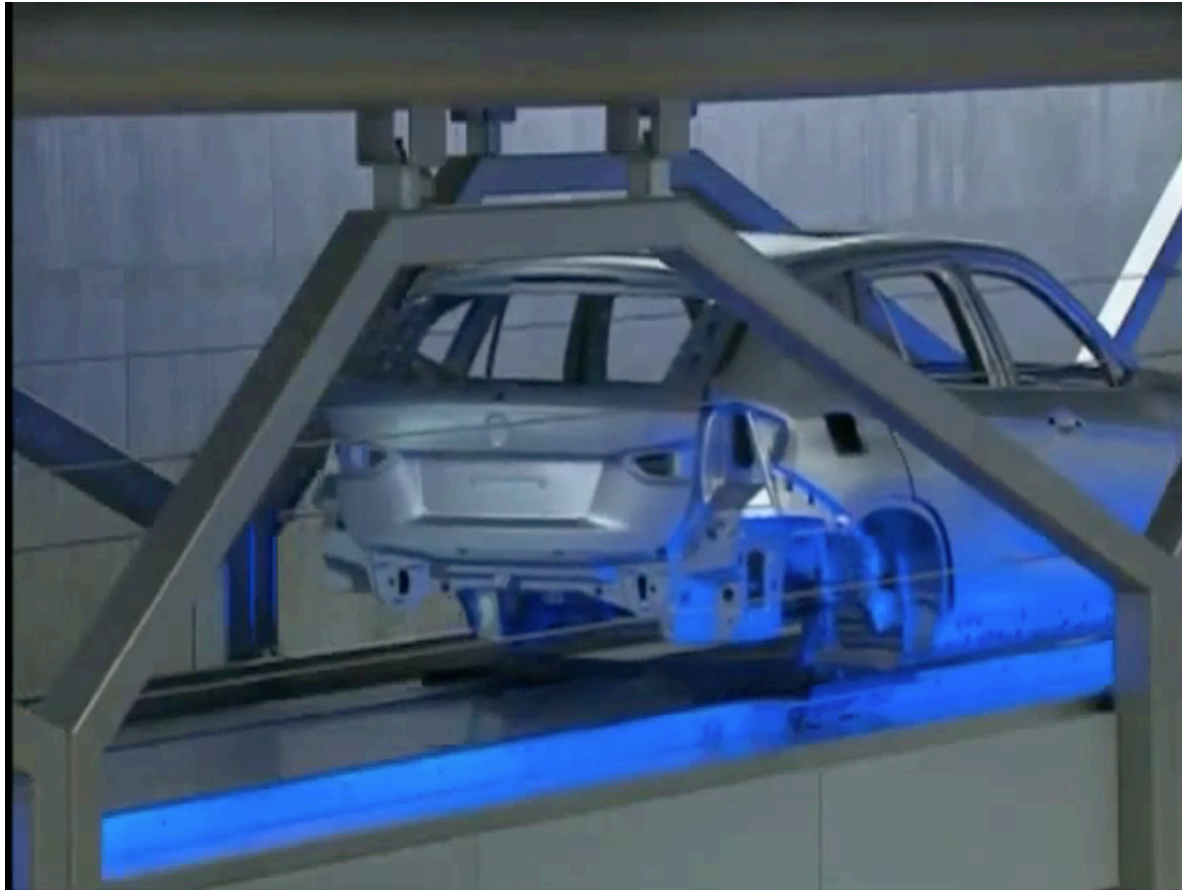
Histórico

... aos robôs móveis.



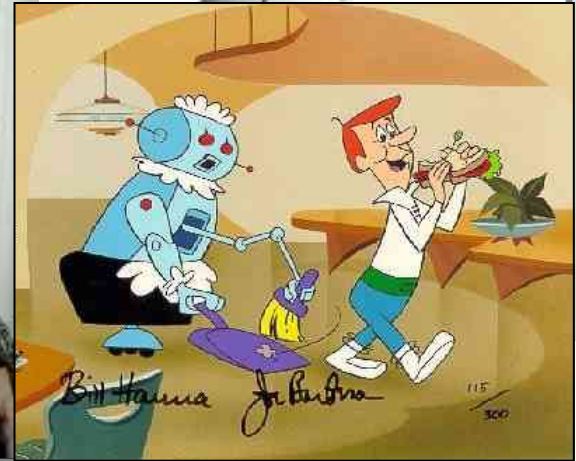
Robótica **Ontem**

Planta da BMW em Leipzig - Alemanha



<https://www.youtube.com/watch?v=MypOFnPDUo0>

Robótica Amanhã





Rose - Jetsons Family

(1960's - Hanna-Barbera)

<https://www.youtube.com/watch?v=xCiQIKtuB6A>



Robótica HOJE



Histórico



Isaac Asimov
(1920-1992)

Histórico

- Robótica Móvel

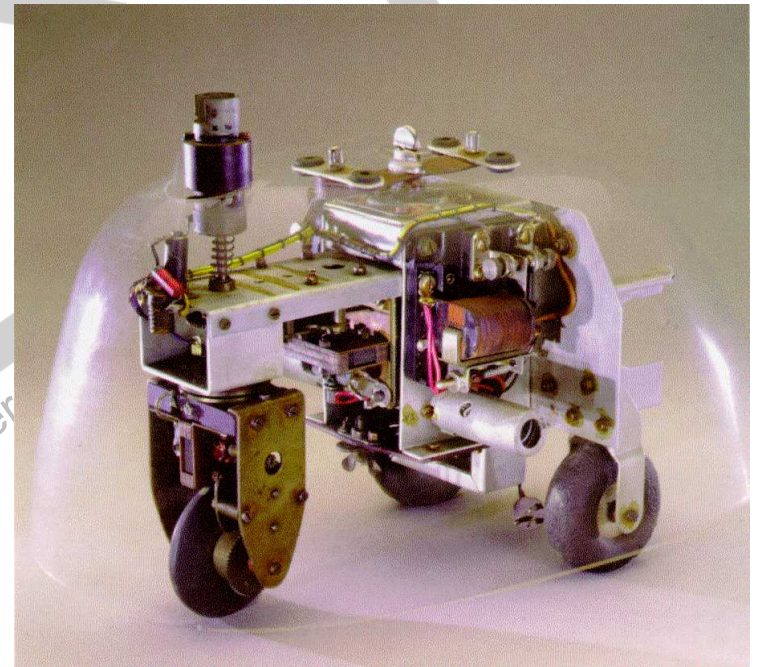
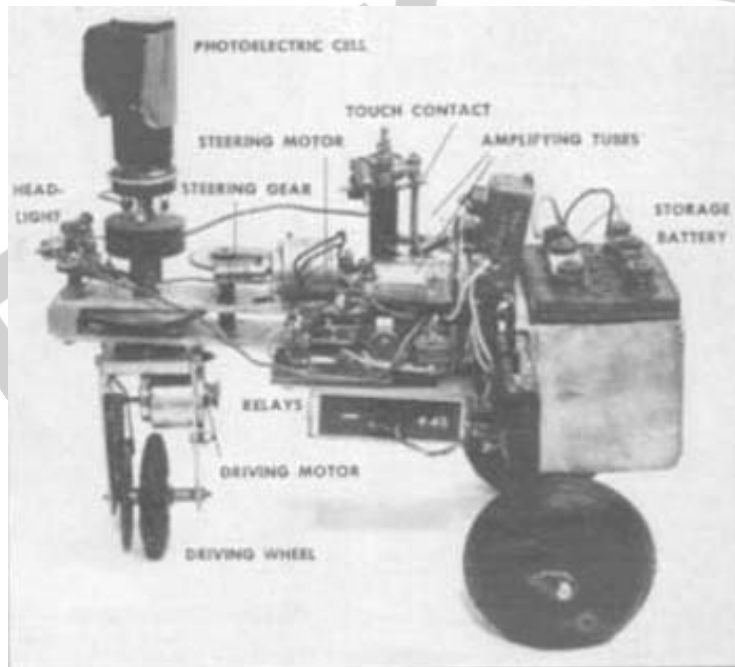
- Grey Walter's Tortoise Elsie (1948-49, Bristol)

- Construído todo em hardware
 - Possuía as seguintes características:
 - ✓ Seguia luzes
 - ✓ Procurava luzes fracas
 - ✓ Afastava-se de luzes brilhantes
 - ✓ Realizava curvas (esterçamento)
 - ✓ Baterias Recarregáveis
 - Os comportamentos eram priorizados: o robô sempre agia baseado em prioridades...



Histórico

- Robótica Móvel
 - Grey Walter's Tortoise Elsie (1948-49, Bristol)

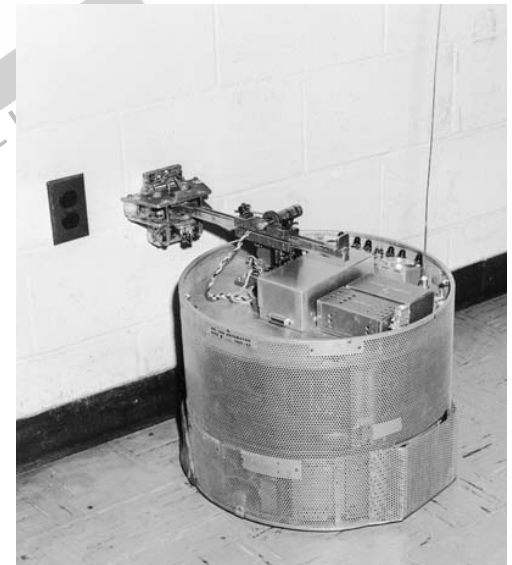


Histórico

- Robótica Móvel

- Hopkins Beast (1960, Johns Hopkins University, USA)

- Mais complexo que o “Elsie”.
 - Controlado por dúzias de transistores.
 - Margeava paredes brancas, “patrulhando” o ambiente.
 - Empregava sonares e células fotoelétricas para monitorar o ambiente



Histórico

- Robótica Móvel
 - Shakey (1970, Stanford, USA)
 - **1º robô móvel** com habilidade de fazer inferências sobre o ambiente que o cerca.
 - Sensores:
 - ✓ Câmera de TV
 - ✓ Sensor de Distância por triangulação
 - ✓ Sensores de Fim-de-Curso



Histórico

- Robótica Móvel
 - Shakey (1970, Stanford, USA)
- Computadores:
 - ✓ DEC PDP-10
 - ✓ DEC PDP-15
- Conexão via rádio e cabos de vídeo.
- Programas:
 - ✓ Percepção
 - ✓ Modelagem do Ambiente
 - ✓ Tomada de Decisão



Histórico

- Robótica Móvel
 - Shakey (1970, Stanford, USA)
 - O Robô SHAKEY construiu um modelo interno do ambiente usando lógica baseada em um formalismo representacional.
 - O “Planejador” (STRIPS) deveria encontrar a seqüência de ações necessárias para realizar a tarefa.



Histórico

- Robótica Móvel
 - Shakey (1970, Stanford, USA)
- O Robô SHAKEY movimentava-se em ambientes estáticos.
- Levava mais de 1 h para atravessar uma sala...

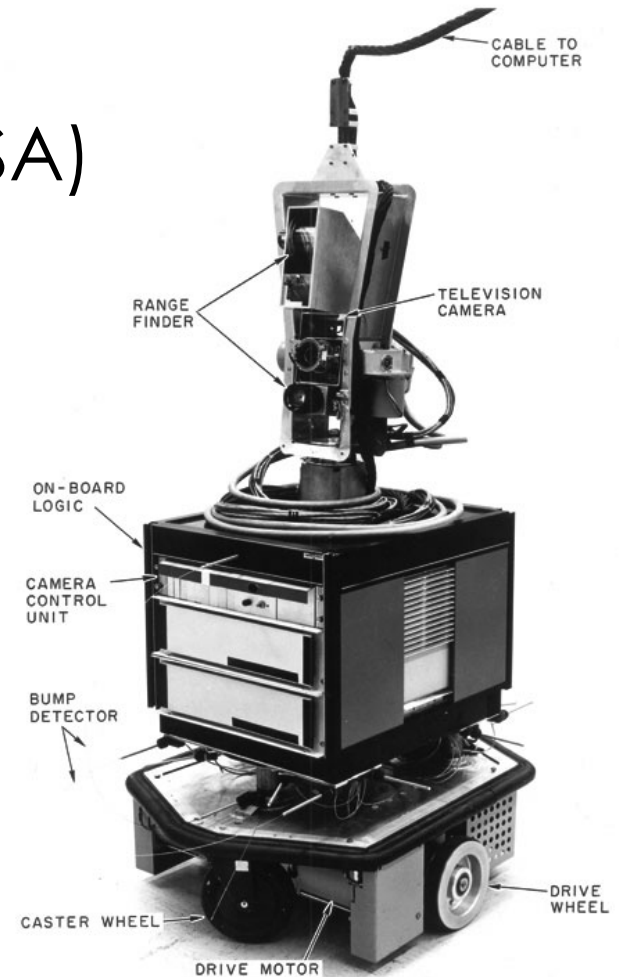


Prof. Dr. Marcelo Becker

Histórico

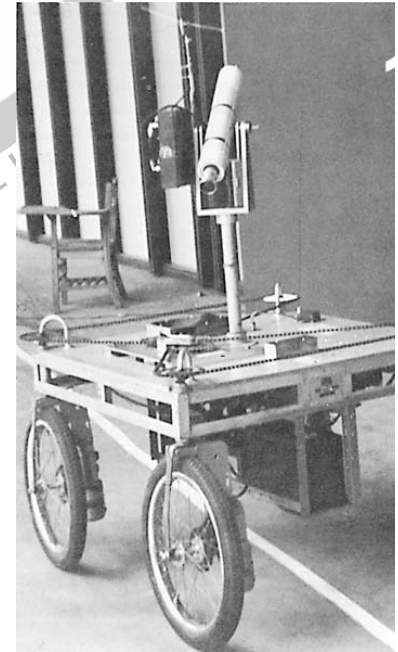
<https://vimeo.com/5072714>

- Robótica Móvel
 - Shakey (1970, Stanford, USA)



Histórico

- Robótica Móvel
 - Stanford Cart (1979, Stanford, USA)
 - **Primeiros experimentos com mapeamento 3D de ambientes**
 - A câmera de TV montada sobre uma guia tira fotos do ambiente de múltiplas posições e ângulos.
 - O computador analisa a distância entre o robô e os obstáculos e gera a trajetória.
 - Computador: 0,5MHz e 1MB memória
 - Velocidade: 1 m / 15 min.

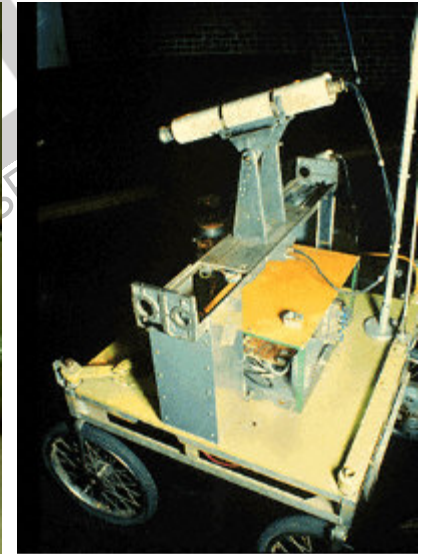
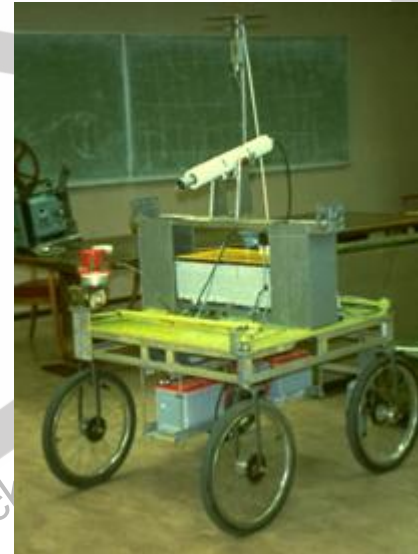


Histórico

- Robótica Móvel

- Stanford Cart (1979, Stanford, USA)

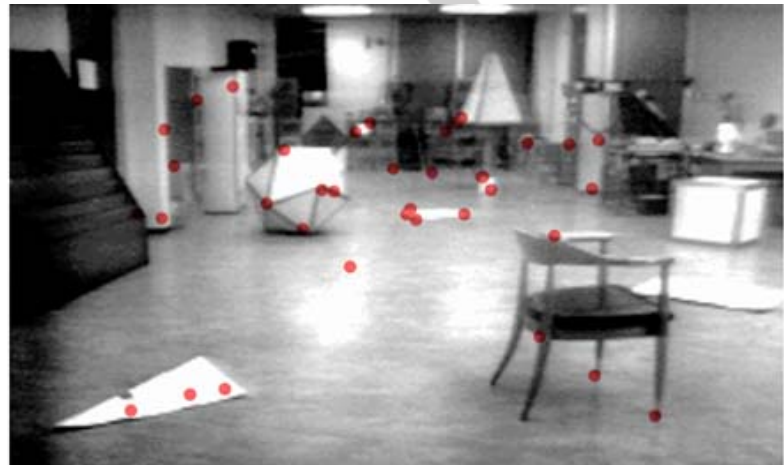
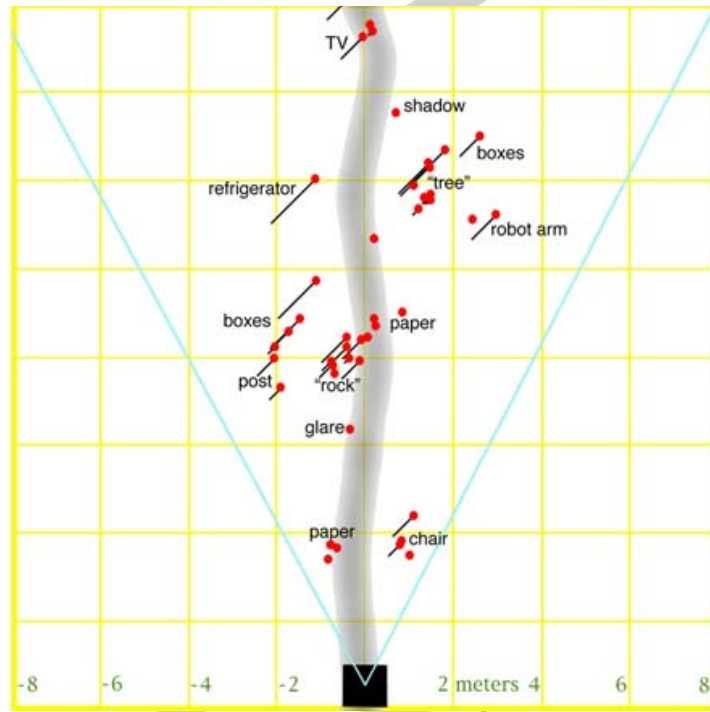
- **1971-9:** movia-se remotamente controlado por pessoas ou computadores.
 - **1971:** seguia uma linha branca no chão.
 - **1975:** movia-se em linha reta baseado em imagem.
 - **1979:** desviou de obstáculos através de mapas 3D.



<https://www.nytimes.com/video/science/1247468063802/stanford-cart.html>

Histórico

- Robótica Móvel
 - Stanford Cart (1979, Stanford, USA)



Mapeamento 3D de Obstáculos

Histórico

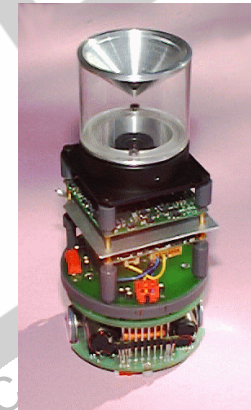
- Robótica Móvel
 - Ghenghis (1988, MIT, USA)
 - Robô andador de 6 patas que **aprendeu a sobrepujar obstáculos sozinho.**
 - Cada pata reage de modo independente ao ambiente
 - ✓ Simplifica a programação!



<https://www.youtube.com/watch?v=BUxFfv9JimU>

Histórico

- Robótica Móvel
 - Khepera (1994, EPFL, Suíça)
 - Mini-robô para pesquisa e ensino.
 - Aproximadamente $\varnothing 55\text{mm}$
 - Utilizado por mais de 500 universidades no mundo...



<https://www.youtube.com/watch?v=LNZ5pPJrVSo>

Histórico

- Robótica Móvel
 - Helicópteros Autônomos (a partir de 1991)



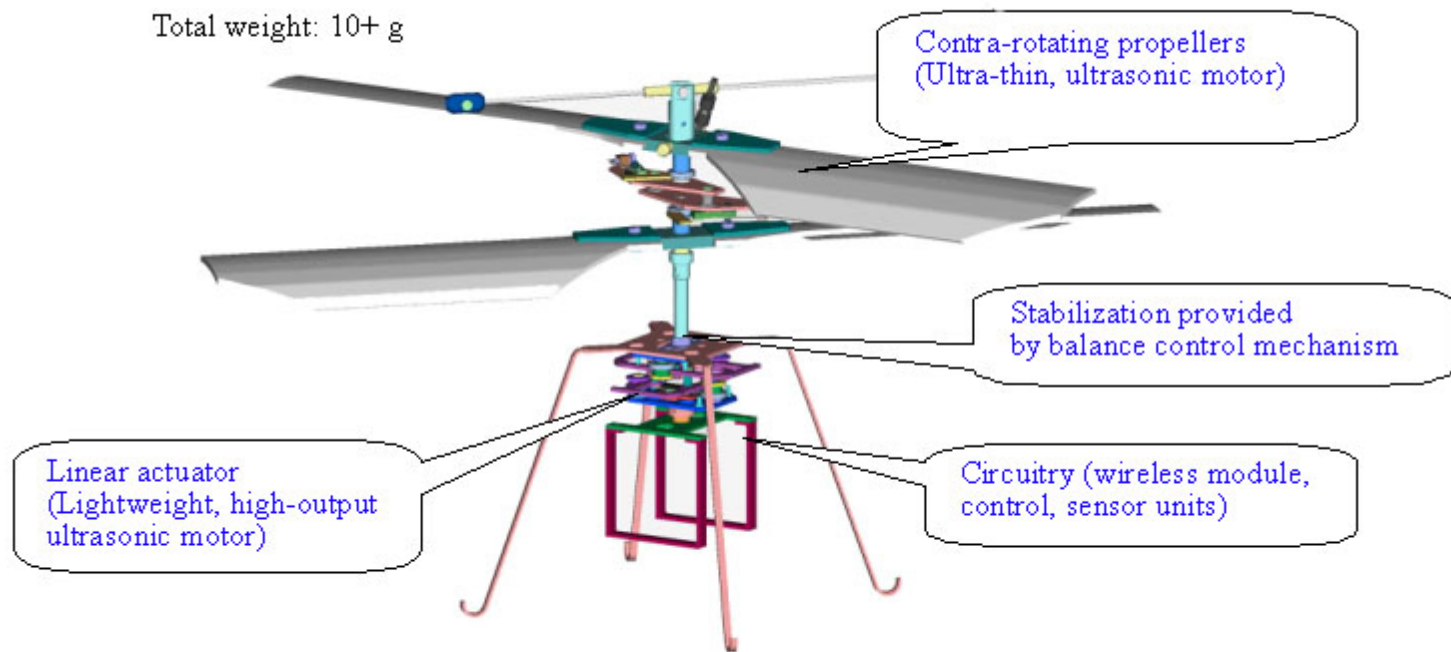
AVATAR Project @ USC, USA



OS4 Project @ EPFL, Suíça

Histórico

- Robótica Móvel
 - Helicópteros Autônomos (a partir de 1991)



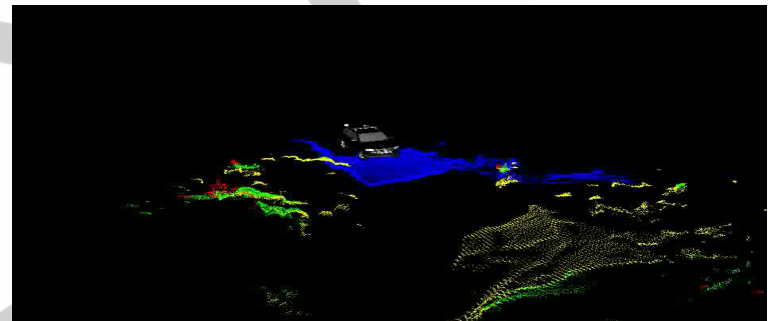
Histórico

<https://www.youtube.com/watch?v=2gQ3P5BpLjQ>

- Robótica Móvel

- Stanley (2005, Stanford, USA)

- Ganhador do Desafio DARPA 2005 no deserto de Mojave (~200km em ~7h)
 - 6 computadores Pentium M
 - Sensores:
 - ✓ GPS
 - ✓ 6DoF IMU
 - ✓ Câmera Mono-ocular
 - ✓ 4 SICK LMS 210
 - ✓ 4 Encoders



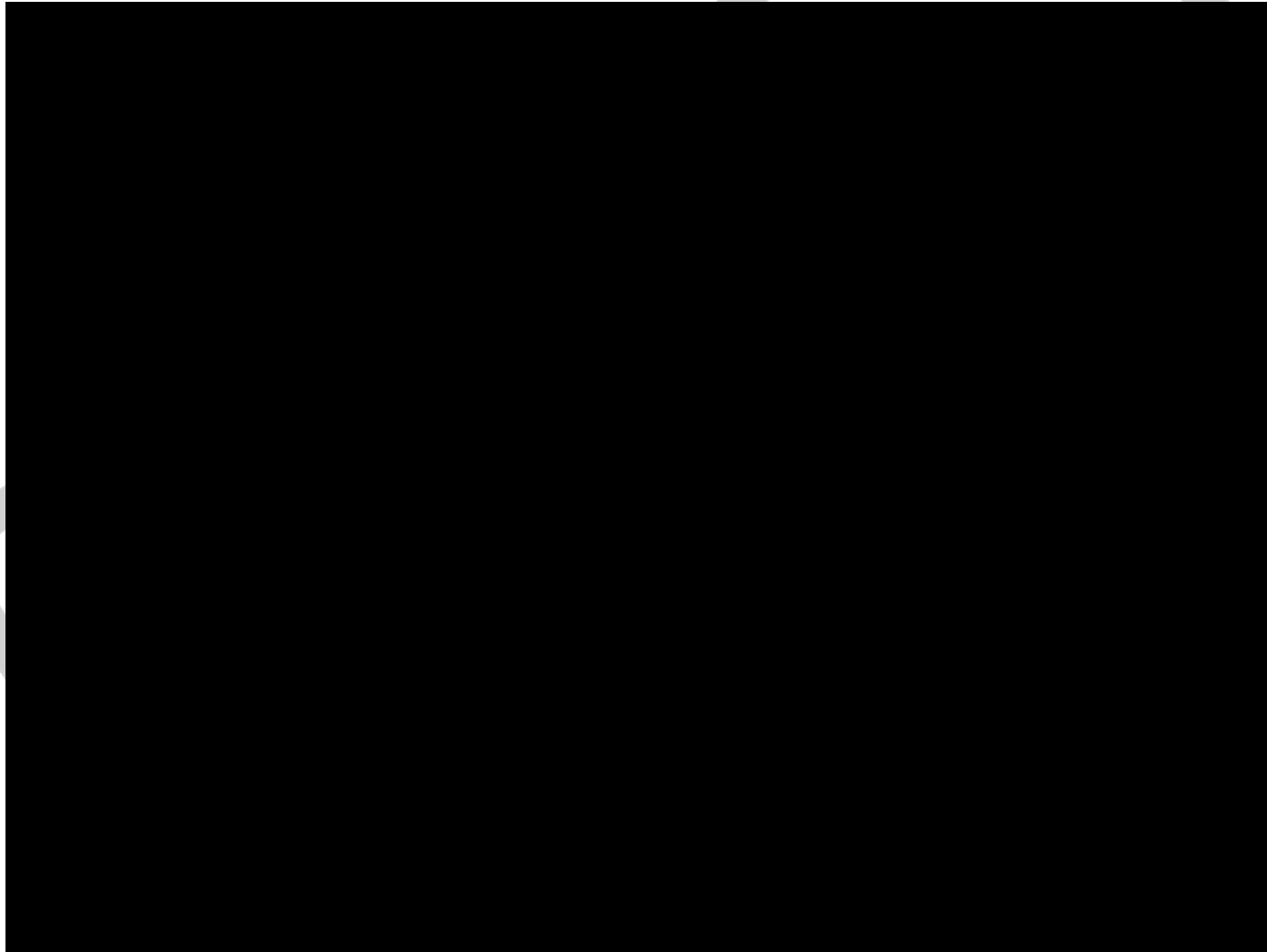
Histórico

- Robótica Móvel
 - SmartTer (2006, EPFL, Suíça)
 - Participou do ELROB-2006
 - 3 computadores Pentium M
 - Sensores:
 - ✓ DGPS
 - ✓ 6DoF IMU
 - ✓ Câmera Mono-ocular
 - ✓ 3 SICK LMS 210
 - ✓ 4 Encoders



Histórico

SmartTer (2006, EPFL, Suíça)



Histórico

- Robótica Móvel
 - Tartan (2007, CMU, USA)
 - Ganhador do Desafio DARPA 2007 em ambiente urbano
 - Sensores:
 - ✓ GPS
 - ✓ 6DoF IMU
 - ✓ Câmeras
 - ✓ 12 sensores laser
 - ✓ Encoders
 - ✓ Radars



<https://www.youtube.com/watch?v=UYW0rdWJIDI>

Sumário da Aula

- Histórico

- **Aplicações**

- Problemas Básicos

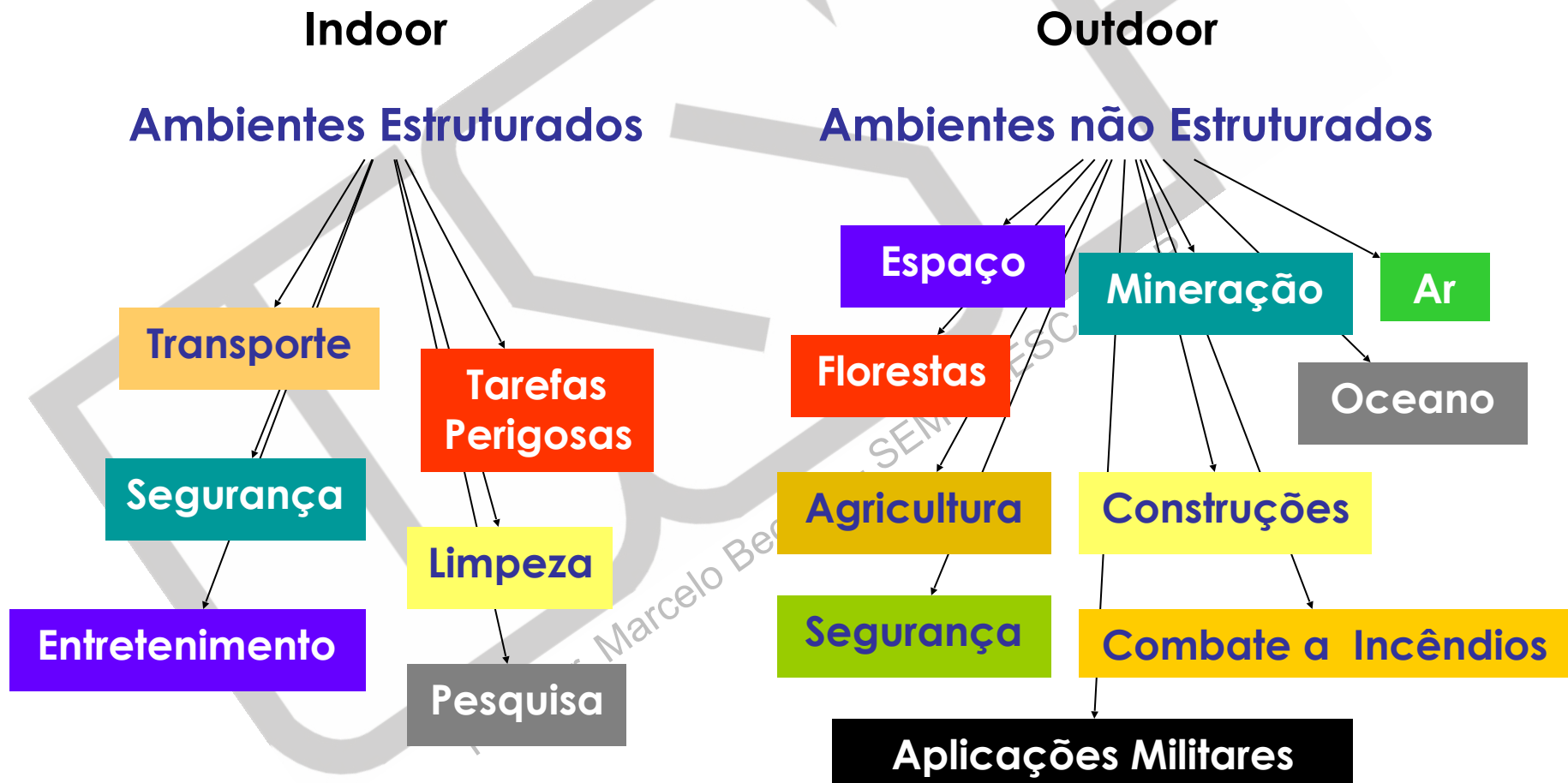
- Desafios e Tendências

- Exemplos - Vídeos

- Bibliografia Recomendada

Aplicações

- Robótica Móvel *Indoor* e *Outdoor*



Aplicações



- Exploração Espacial
 - Do início da década de 1980 a 2004



Evolução do Robô Rocky - NASA



Sojourner - NASA

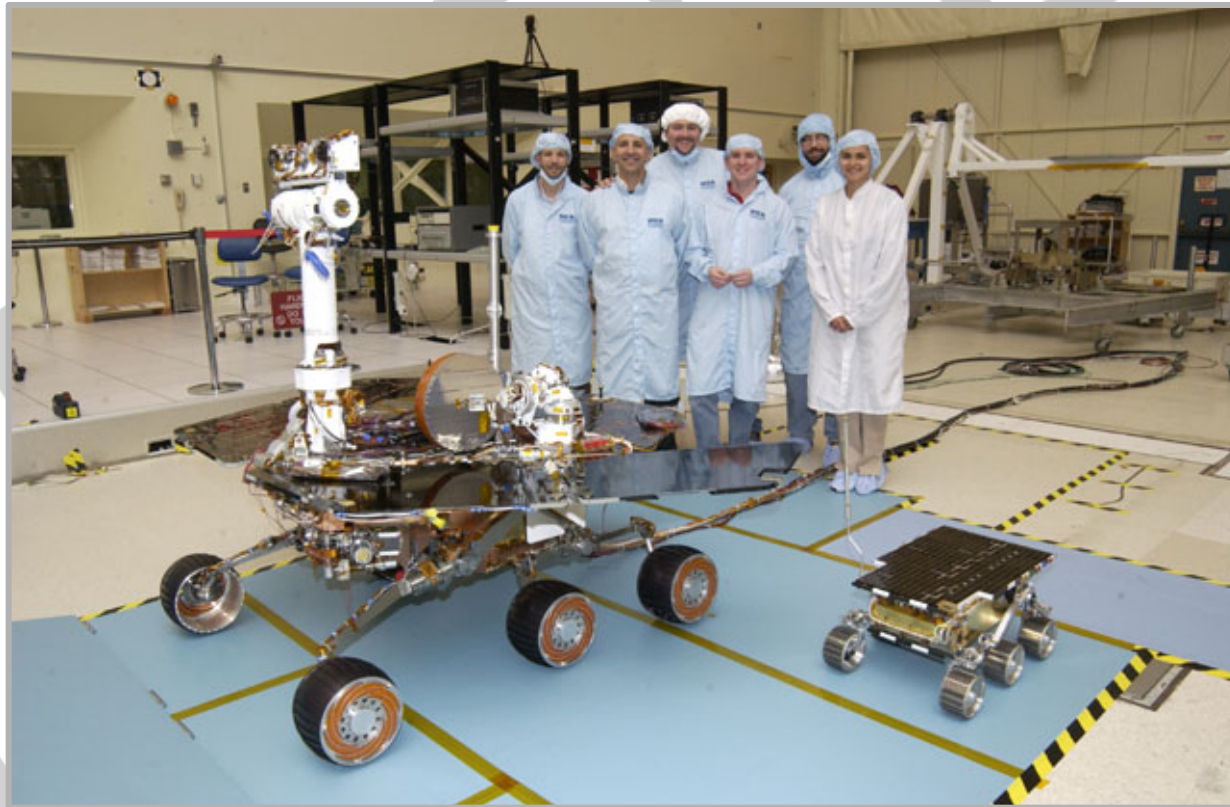


Opportunity - NASA

Aplicações

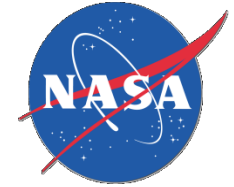


- Exploração Espacial

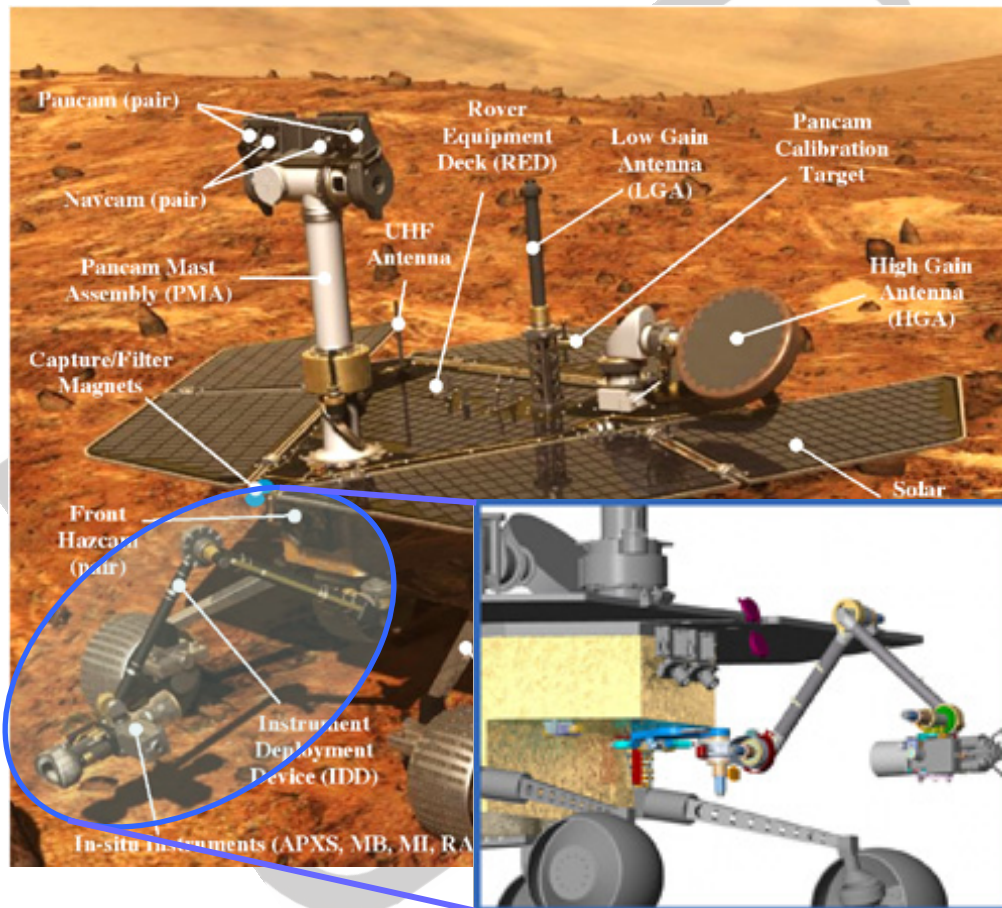


Exploração de Marte (NASA – Evolução dos Rovers)

Aplicações



- Exploração Espacial



- Dois Braços, cada um com 4 GDL's:

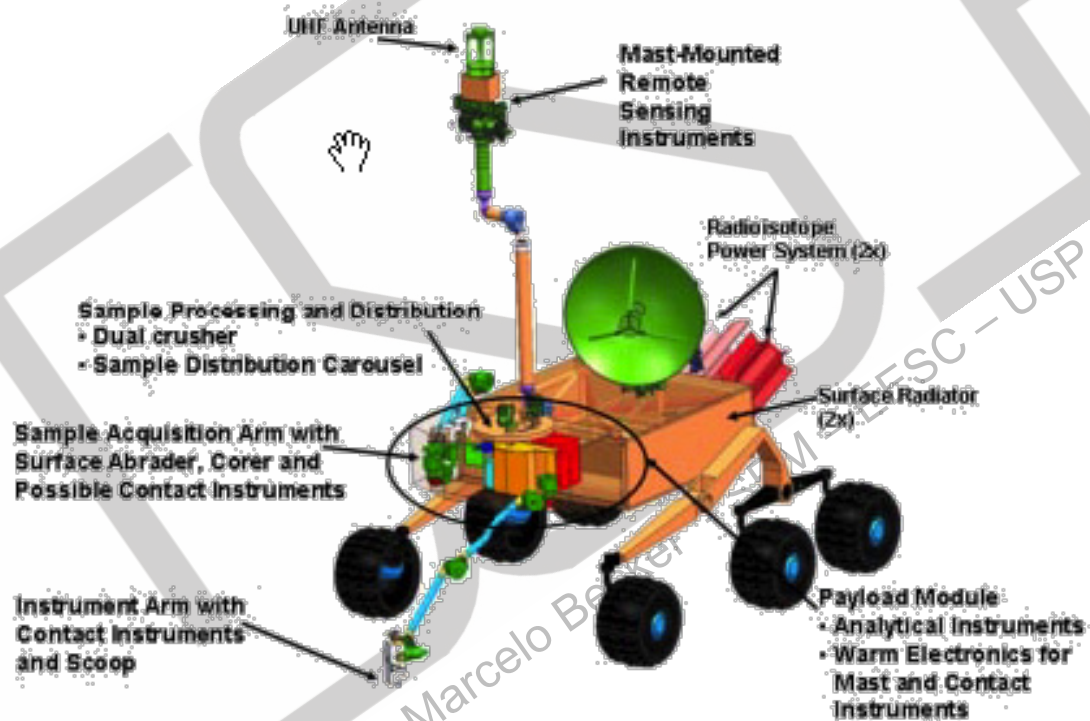
- Um Braço tem 1,5 m de comprimento e capacidade de carga de 1 kg.

- O outro, 0,5 m de comprimento e 2 kg de capacidade de carga.

Aplicações



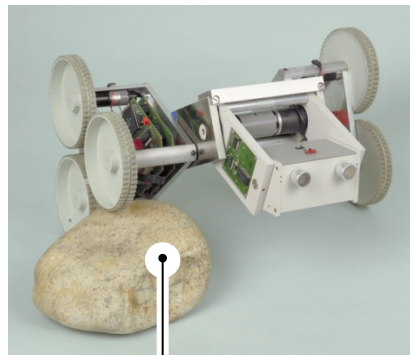
- Exploração Espacial



Exploração de Marte (NASA – Evolução dos Rovers)

Aplicações

- Exploração Espacial



1997

SpaceCat



Shrimp

1999

2003

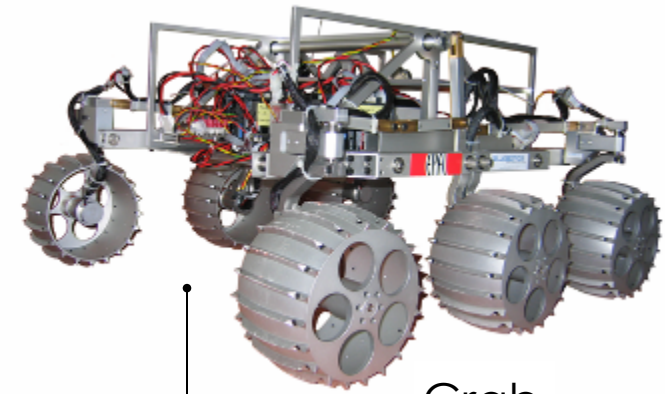
2004



Octopus



Solero

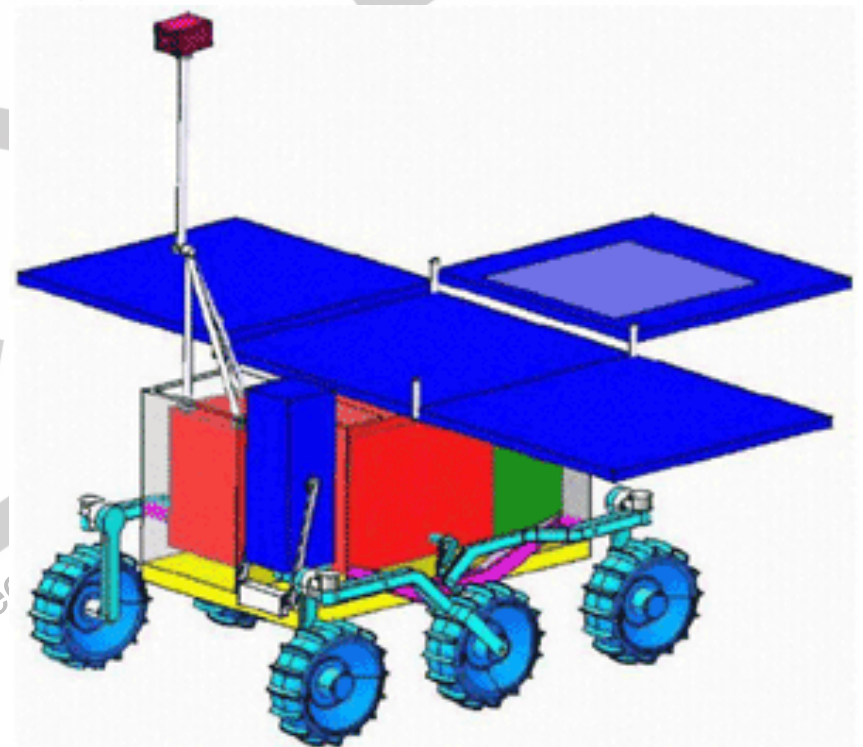


Crab

2005

Aplicações

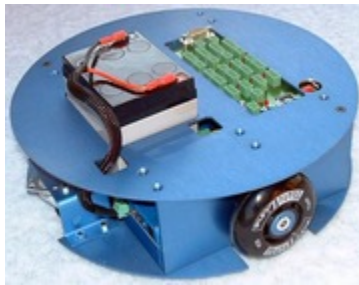
- Exploração Espacial



Exploração de Marte (ESA – ExoMars rover - 2015)

Aplicações

- Robôs para Pesquisa e Ensino



SmartEase



Khepera II



e-Puck



MB835



Hemisson



Koala II

Aplicações

- Robôs para Defesa e Resgate



Pioneer em Chernobyl

Foster-Miller Talon

RQ-9 Predator

Envergadura: 20m

Velocidade: ~400km/h

Comprimento: 11m

Autonomia: 15h / 3200 milhas náuticas

Aplicações

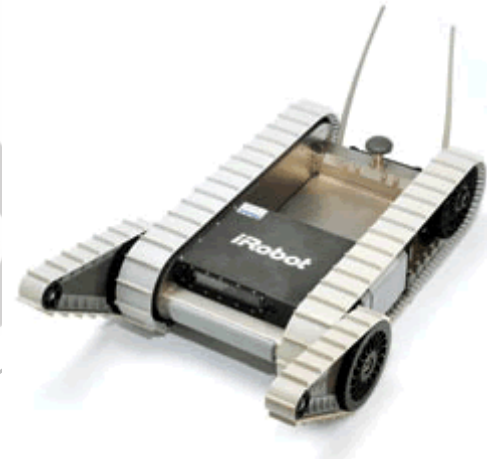
- Robôs para Defesa e Resgate



Foster-Miller Talon



BEAR



PackBot Scout

Aplicações

- Robôs para Patrulha



CyberGuard SR3/
ESP

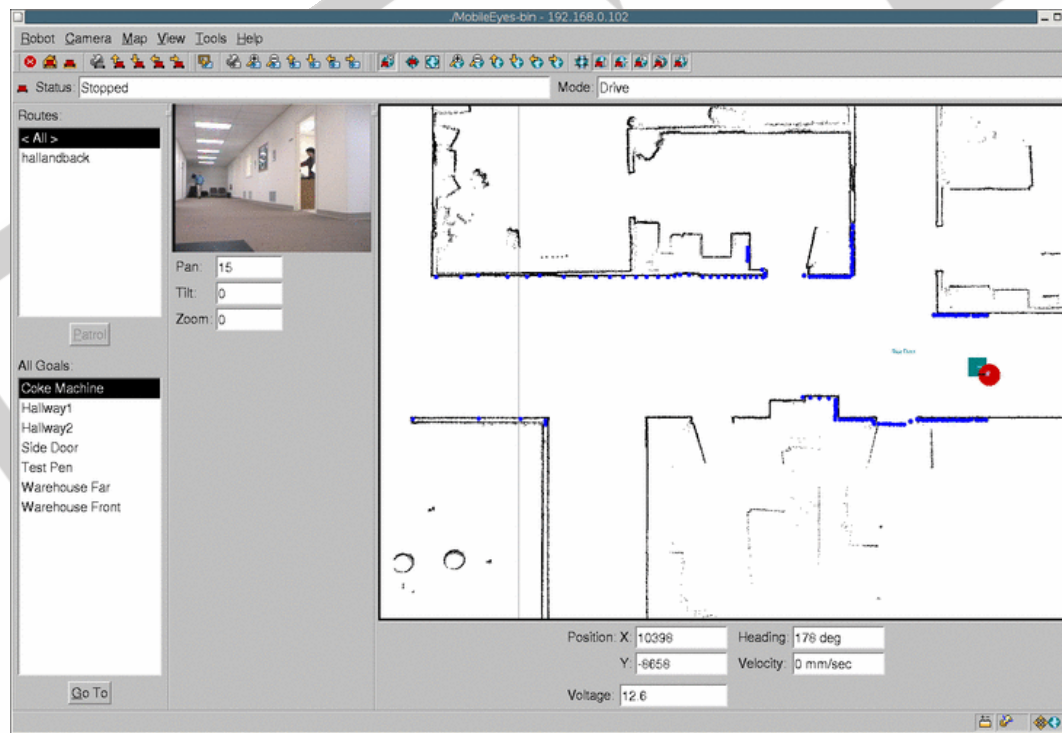


PatrolBot

Mapeia ambientes e controla o movimento de pessoas.

Aplicações

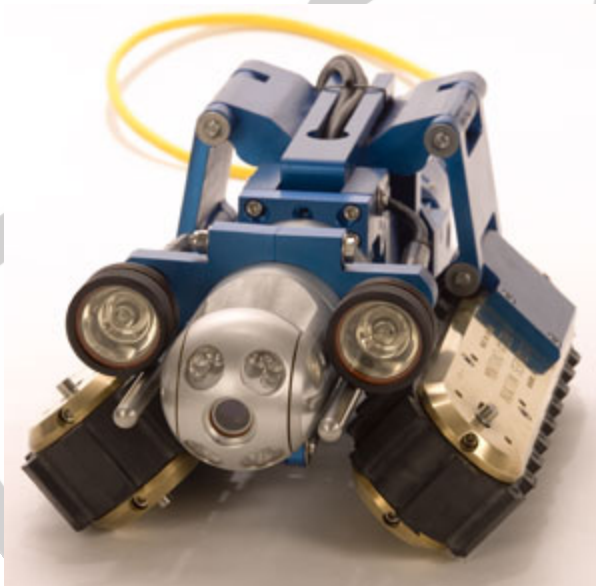
- Robôs para Patrulha



PatrolBot

Aplicações

- Robôs para Inspeção
 - Tubulações com \varnothing acima de 300mm

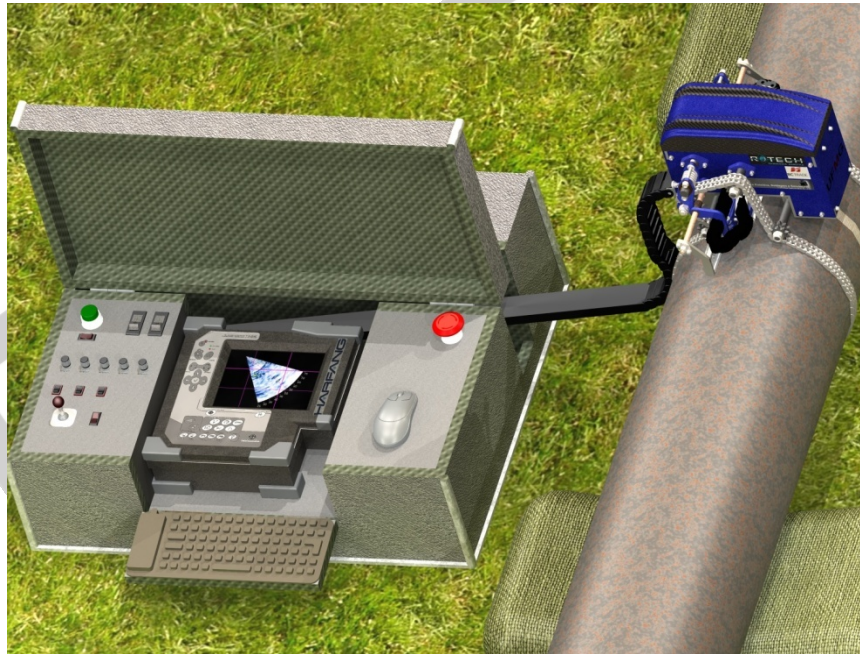


Versatrax 150™



Aplicações

- Robôs para Inspeção
– Soldas em Tubulações



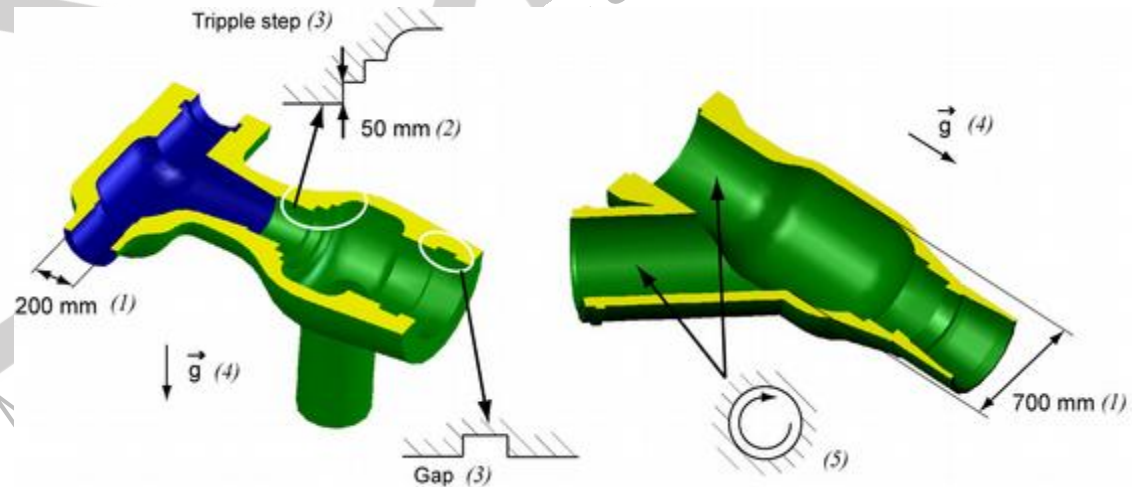
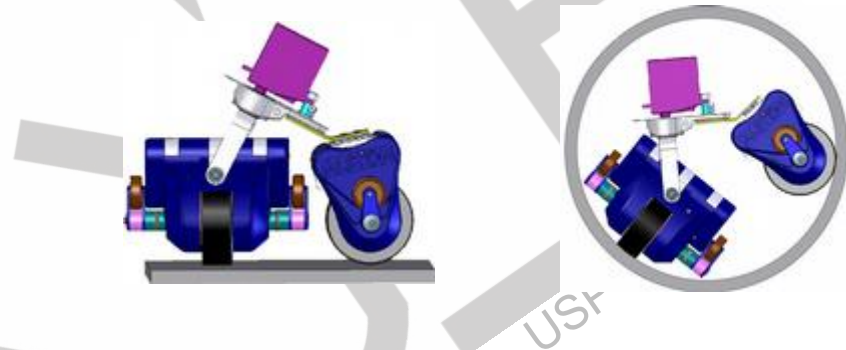
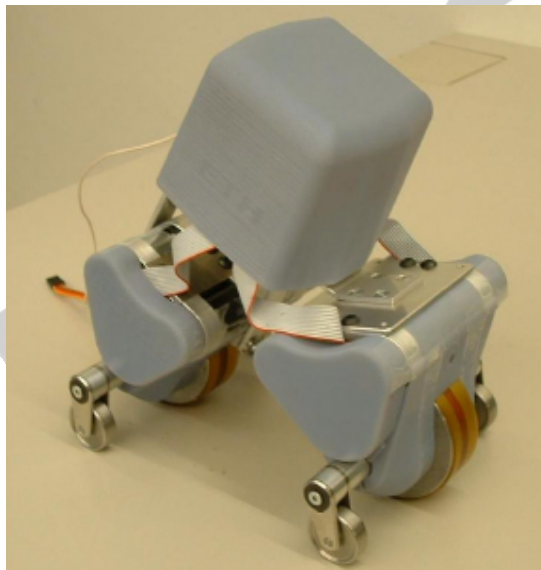
Orbital Inspection Robot
Cedido por Frederico A. Ramalho F^o



PETROBRAS

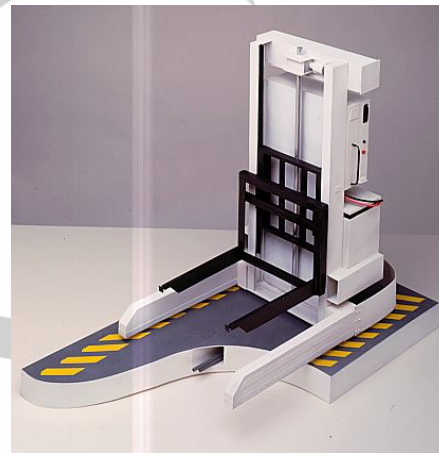
Aplicações

- Robôs para Inspeção
 - Tubulações

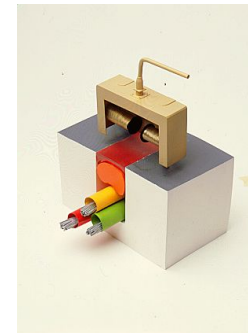


Aplicações

- Robôs para Indústrias - AGVs

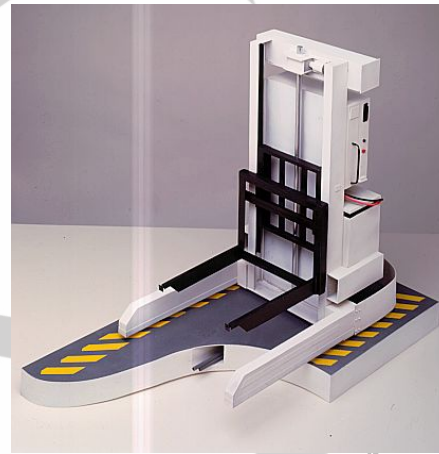


FLD - 1604 AGV



Aplicações

- Robôs para Indústrias - AGVs



FLD – 1604 AGV



AGV – Berzan Sticker

Aplicações

- Robôs para Combate a Incêndios / Descontaminação

TECDRON



FireMote



Scarab TX - TECDRON

https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=gWje2rnUxwA

Aplicações

- Robôs Autônomos para Portos

Automação do manuseio de containeres



<https://www.youtube.com/watch?v=eWvdUOWc53Q>

Aplicações

- Robôs Domésticos



Robôs de Presença



Cye - Robô de Serviço



Robôs de Limpeza



Robôs Cortadores de Grama



Aplicações

- Robôs Domésticos
 - Roomba - *iRobot*
 - ~US\$400, 2 milhões de unidades vendidas (2006)
 - Aspirador de pó
 - Detecta áreas sujas
 - Limpa embaixo das camas
 - Evita escadas e obstáculos
 - Limpa áreas próximas às paredes



Roomba

<https://www.youtube.com/watch?v=tZ0bq-jlg-o>

iRobot Case



- 27 anos
- 2016: mais de **14 milhões de home robots** vendidos!!

Source: www.irobot.com

Indoor

Vacuating



Roomba

Mopping



Braava

Outdoor

Pool Cleaning



Mirra

Gutter Cleaning



Looj

Aplicações

- Robôs para Limpeza



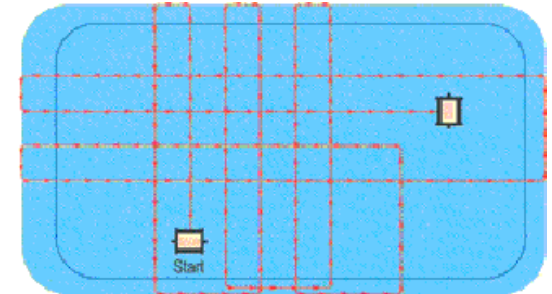
Skywash



Sirius



Aquabot T4 - Turbo



Aplicações

- Robôs Assistivos



Manus-ARM

2000



Care-O-Bot

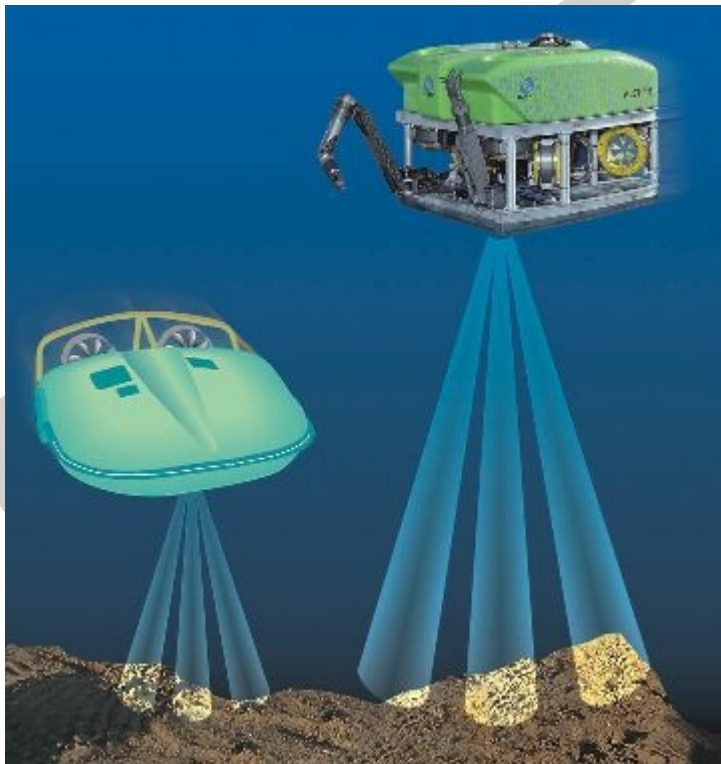
2006

<https://www.youtube.com/watch?v=OwAF8hsO58o>

2016

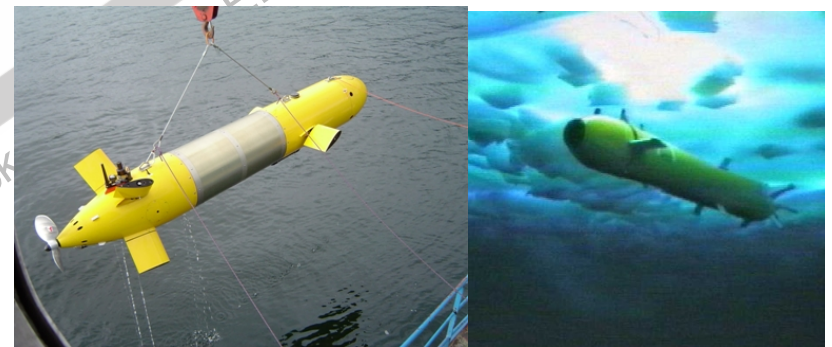
Aplicações

- Robôs Submarinos - AUV



Aplicações:

- Militares
- Resgate
- Inspeção
- Limpeza
- Monitoramento
- Missões Científicas



Aplicações

- Robôs para Agricultura



Helicóptero Yamaha RMAX

246cc, 30kg de capacidade de carga
GPS – altitude e velocidade
Controle de Atitude Yamaha
Mais de 1600 helicópteros em operação
no Japão.



Aplicações

- Robôs Recreativos



Sony - Aibo



Honda - Asimo



Sony - QRIO



RoboSapien
V2

Aplicações

- Robôs Recreativos / Humanóides

ASIMO - HONDA



1986

2000 -



52kg - 1,2m
26 DoF: 2 cabeça / 10 braço /
12 perna / 2 mão
Velocidade: 1,6km/h andar
3,0km/h correr

Aplicações

- Robôs Recreativos / Humanóides

ASIMO - HONDA



1986



ASIMO

2000 -



Sumário da Aula

- Histórico
- Aplicações
- **Problemas Básicos**
- Desafios e Tendências
- Exemplos - Vídeos
- Bibliografia Recomendada

Metodologia de Projeto



Problemas Básicos

- 3 Perguntas fundamentais...

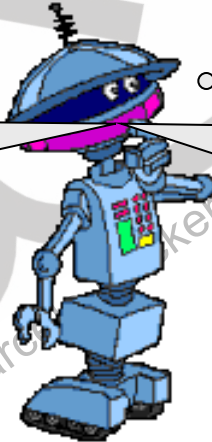
Onde
estou?

Para onde
estou indo?

Como vou
chegar lá?

Preciso saber
minha
Localização!

Preciso
Navegar neste
ambiente!

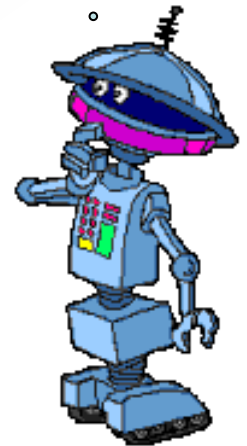


[Leonard & Durrant-Whyte 92]

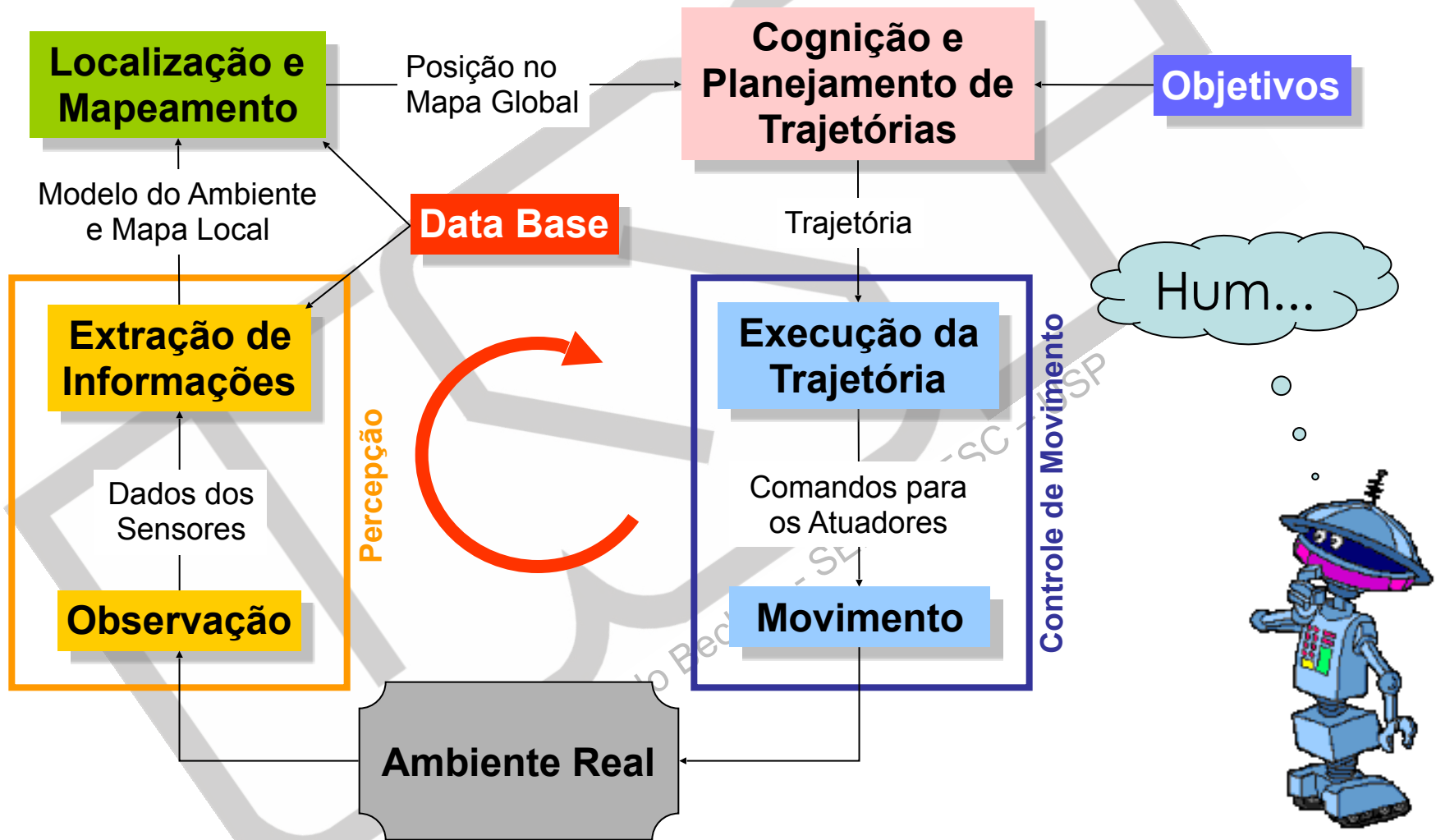
Problemas Básicos

- 3 Perguntas fundamentais...
 - Onde estou?
 - Para onde vou?
 - Como faço isso?
- Para respondê-las, o robô deve:
 - ✓ (Ob)Ter um modelo do ambiente
 - ✓ Observar e analisar o ambiente
 - ✓ Encontrar sua posição no ambiente
 - ✓ Planejar e executar uma trajetória

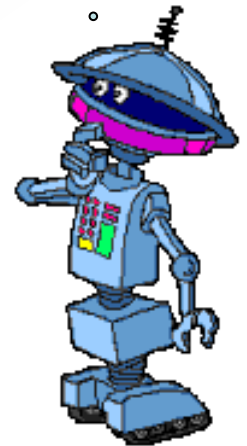
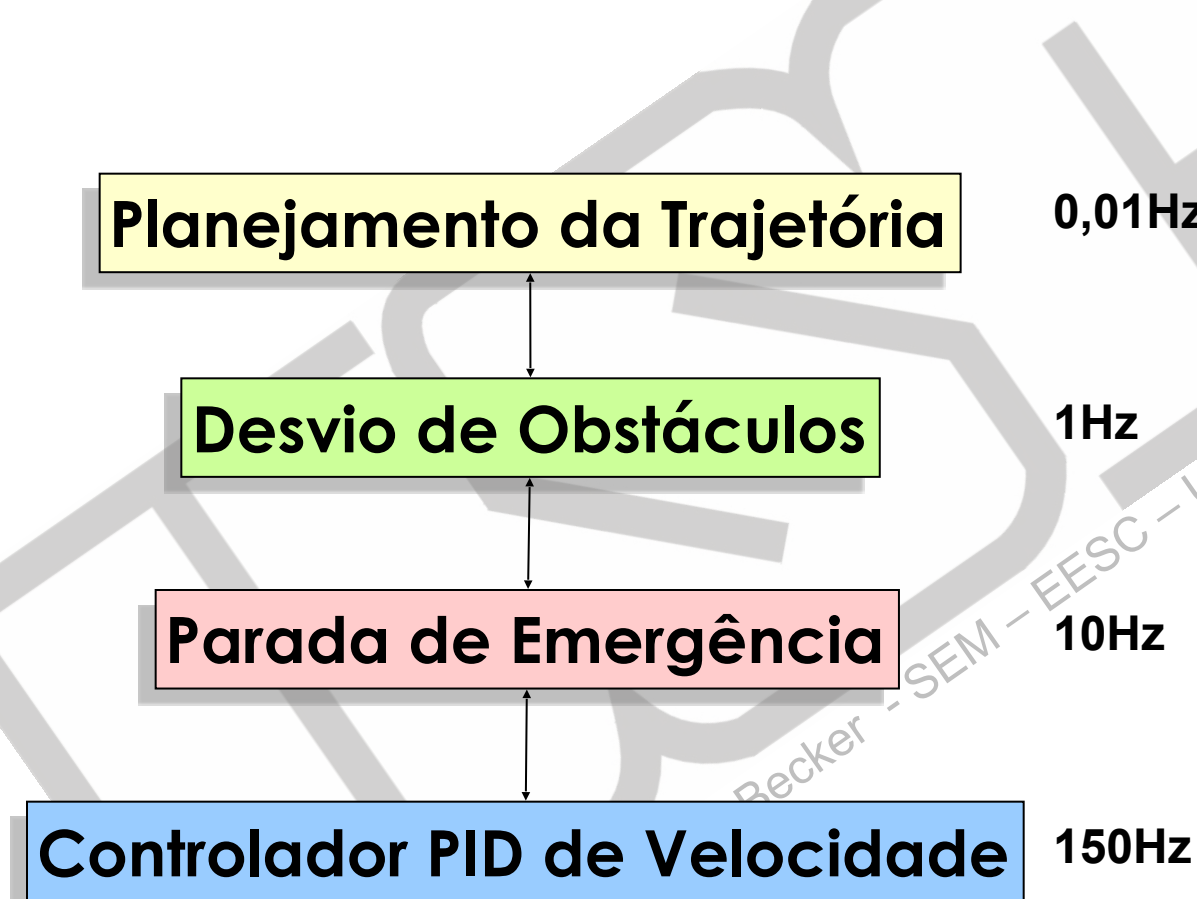
Hum...



Problemas Básicos



Problemas Básicos



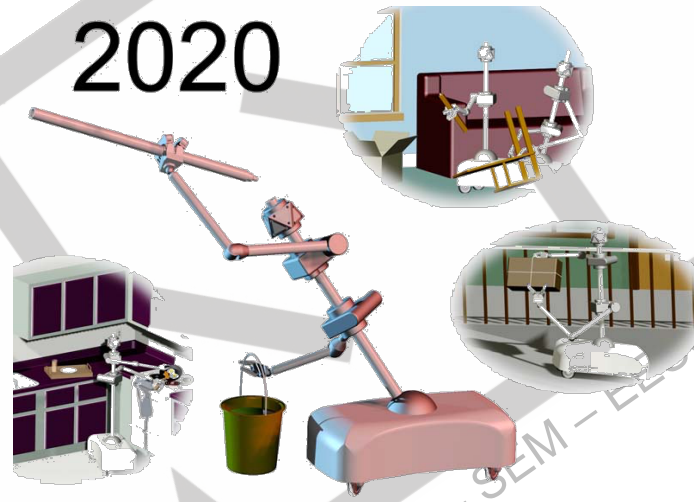
Sumário da Aula

- Histórico
- Aplicações
- Problemas Básicos
- **Desafios e Tendências**
- Exemplos - Vídeos
- Bibliografia Recomendada

Desafios

- Iteração com serem humanos

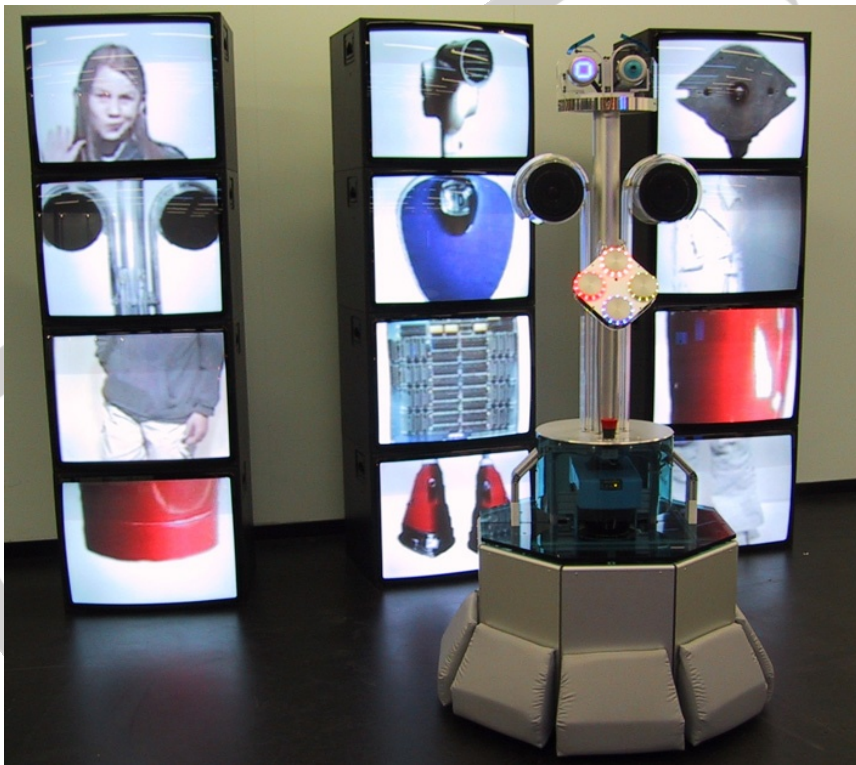
2020



Os robôs serão parte do nosso dia-a-dia...

Desafios

- Iteração com serem humanos



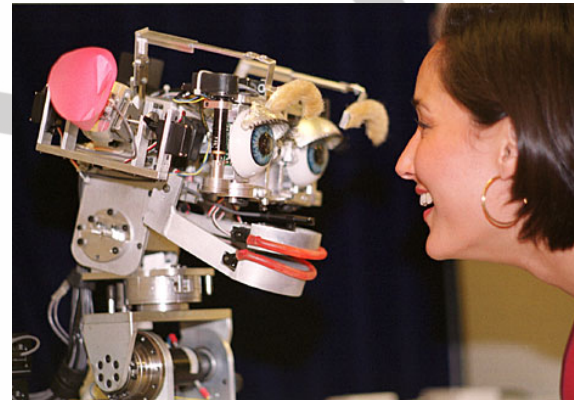
Robox – Expo 2002, Suíça

Desafios

- Iteração com serem humanos



Sage - CMU



Kismet - MIT

Tendências

- Mercado Mundial Atual
 - Empresas / Indústrias
 - Sistemas Submarinos: ~18% (5680 un. dez. 2005)
 - Robôs de Limpeza: ~17%
 - Defesa, resgate e segurança: ~16%
 - Construção, área médica, agricultura e uso geral: ~11% cada

Valor estimado: 4 bilhões de US\$

Fonte: World Robotics 2006 – Section on Service Robots

Tendências

- Mercado Mundial Atual
 - Uso Doméstico
 - Robôs Domésticos (aspirador de pó, cortador de grama, etc.): 2 milhões de unidades vendidas
 - Robôs de Entretenimento e Lazer: 1 milhão de unidades vendidas
 - Robôs Assistivos, Segurança Pessoal, etc.

Fonte: World Robotics 2006 – Section on Service Robots

Tendências

- Projeções até 2009
 - Empresas e Indústrias
 - Robôs de Serviço devem totalizar 34.000un.
 - Áreas de crescimento:
 - Sistemas Submarinos
 - Defesa-Resgate-Segurança
 - Robôs de Laboratório (Ensino e Pesquisa)
 - Limpeza
 - Área Médica
 - Plataformas de uso geral

Fonte: World Robotics 2006 – Service Robots Chapter

Tendências

- Projeções até 2009
 - Uso Doméstico
 - Robôs Domésticos: devem atingir 4 milhões de unidades (vendas de ~3 bilhões US\$)
 - Robôs de Entretenimento e Lazer: devem atingir 1,6 milhões de unidades (vendas de ~4 bilhões US\$)

Fonte: World Robotics 2006 – Service Robots Chapter

Sumário da Aula

- Histórico
- Aplicações
- Problemas Básicos
- Desafios e Tendências
- **Exemplos - Vídeos**
- Bibliografia Recomendada

Exemplos - Vídeos

Feira Internacional de Robô - iREX



Simroid – Universidade de Tóquio



21 – Universidade de Waseda

Exemplos - Vídeos

Feira Internacional de Robô - iREX



e-nuovo Walk - ZMP



My Baby 2 - Yamazaki

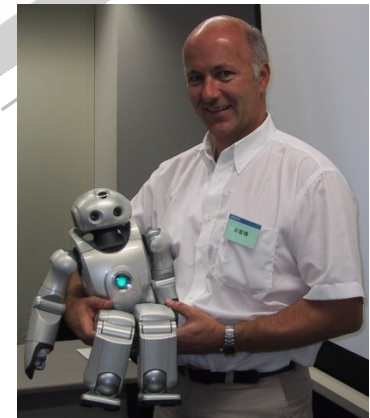
Exemplos - Vídeos

Filme ASL @ EPFL

Autonomous System Lab – EPFL, Lausanne, Suíça

Prof. Roland Siegwart

- 15 Doutorandos (4 técnicos e 5 Pós-Doc)
- Sistemas Autônomos e Design
- 1996 – 2006: EPFL, Lausanne
- Jul. 2006: ETHZ, Zurich



Exemplos - Vídeos

A

R

•

•

•

•

Sumário da Aula

- Histórico
 - Aplicações
 - Problemas Básicos
 - Desafios e Tendências
 - Exemplos - Vídeos
- Bibliografia Recomendada**

Bibliografia Recomendada

LIVROS

- SIEGWART, R., NOURBAKHSI, I. and SCARAMUZZA, D. ***Introduction to Autonomous Mobile Robots***. MIT Press, 2011.
- MURPHY, R. R. ***Introduction to AI robotics***. MIT Press, 2000.
- EVERRET, H. R. ***Sensors for mobile robots: theory and application***. A. K. Peters Ltd: Natick, Massachusetts, USA, 1995.
- BEKEY, G. A. ***Autonomous Robots: From biological inspiration to implementation and control***. MIT Press: Cambridge, Massachusetts, USA, 2005.

Bibliografia Recomendada

LIVROS

- WILLIAMS, K. ***Insectronics: build your own walking robot.*** McGrawHill: New York, 2003.
- BREAZEAL, C. L. ***Designing socialible robots.*** MIT Press: Cambridge, Massachusetts, 2002.
- KACHROO, P. and MELLODGE, P. ***Mobile robotic car design.*** McGrawHill: New York, 2005.
- DORIGO, M. and COLOMBETTI, M. ***Robot shaping.*** MIT Press: Cambridge, Massachusetts, 1998.

Bibliografia Recomendada

SITES

- <http://www.mobilerobots.org>
- <http://www.sri.com/news/storykits/>
- <http://groups.csail.mit.edu/lbr/genghis/>
- <http://www.stanford.edu/~learnest/cart.htm>
- <http://www.asl.ethz.ch>
- <http://www.euron.org/>
- <http://www.bluebotics.com/>
- <http://www.inuktun.com/>
- <http://www.service-robots.org>
- <http://world.honda.com/ASIMO/history/>
- <http://world.honda.com/HDTV/ASIMO/>
- <http://robotics.usc.edu/~avatar/>

Bibliografia Recomendada

SITES

- <http://www.e-puck.org/>
- <http://www.swarm-bots.org>
- http://brl.ee.washington.edu/Research_Past/Biologically_Based/Biologically_Based_Index.html
- http://www.esa.int/home-ind/ESA-Article-fullArticle_par-17_1054042928063.html
- <http://www.neurotechnology.neu.edu/latmaneuvering.html>
- <http://eap.jpl.nasa.gov>
- <http://www.ias.uwe.ac.uk/energy-autonomy.htm>

Bibliografia Recomendada

SITES

- <http://web.mit.edu/spotlight/archives/troody.html>
- <http://omconsults.net/Bot/Mecanum.htm>
- <http://www.airtrax.com/vehicles/sidewinder.html>
- <http://www.msl.ricmu.edu/projects/ballbot>
- http://www.ai.mit.edu/projects/leglab/robots/3D_hopper/3D_hopper.html

Bibliografia Recomendada

NOTAS DE AULA

- **Siegwart, R.** (ETHZ - Suíça):
<http://www.mobilerobots.org>
- **Simões, A. S.** (UNESP - Brasil):
<http://www.sorocaba.unesp.br/professor/assimoes/rm/index.html>
- **Zufferey, J-C.** (EPFL - Suíça):
<http://moodle.epfl.ch/course/view.php?id=261>