

**USP - ICMC - SSC
SSC 0714 (RMA) - 1o. Semestre 2010**

**Disciplina de
Robôs Móveis Autônomos
SSC-0714**

Prof. Fernando Santos Osório

Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }

Estagiário PAE: Maurício Acconcia Dias - maccddias [at] gmail.com

Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

Aula 10: Sistemas Multi-Robóticos

Agenda:

Sistemas Multi-Robóticos - Coordenação e Colaboração:

1. *Sistemas Multi-Agentes (SMA)*

Conceitos SMA (Sist. Multi-Agentes) e IAD (I.A. Distribuída)

Exames: ACO, Swarms

2. *Coordenação em Sistemas Multi-Robóticos*

Conceitos, Tipos de Coordenação, Comunicação

Aplicações de Grupos Robóticos

Aplicações de Exames Robóticos

3. *Comportamento em Sistemas Multi-Robóticos*

A* Colaborativo/Distribuído

Reynolds: Boids, Flocks, Steering Behaviours

Aplicações: Futebol de Robôs, Robombeiros, Swarm-Bot Project

Sistemas Multi-Agentes:

Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...



Sistemas Multi-Agentes:

Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...



Formas de Comunicação:

- Mensagens (Link Tx/Rx)
- Emissor / Sensor
- Visual, Sonora, Marcas
- Através do ambiente

Sistemas Multi-Agentes:

Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...

Projeto de Sistemas Multi-Agente: [Wooldridge 2002]

- A multiagent system is one that consists of a number of agents, which interact with one-another
- In the most general case, agents will be acting on behalf of users with different goals and motivations
- To successfully interact, they will require the ability to **cooperate**, **coordinate**, and **negotiate** with each other, much as people do
- The first problem is **agent design**, the second is **society design** (micro/macro)

5

Maio 2010

"An Introduction to MultiAgent Systems" by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002

Sistemas Multi-Agentes:

Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...

Problemas do Projeto de Sistemas Multi-Agente: [Wooldridge 2002]

- In Multiagent Systems, we address questions such as:
 - How can cooperation emerge in societies of self-interested agents?
 - What kinds of languages can agents use to communicate?
 - How can self-interested agents recognize conflict, and how can they (nevertheless) reach agreement?
 - How can autonomous agents coordinate their activities so as to cooperatively achieve goals?
 - **How can they share Knowledge and Goals?**

6

Maio 2010

"An Introduction to MultiAgent Systems" by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002

Sistemas Multi-Agentes:

Dos Agentes Autônomos Individuais aos Sistemas Multi-Agentes...

Onde aplicar Sistemas Multi-Agente:

Apply MAS when some of the following features show up in a problem

- Decentralization
- Complex components, often best described at the knowledge level
- Adaptive behavior
- Complex interactions
- Coordination
- Emergent, aggregate behaviors

Sistemas Multi-Agentes:

Multiagent Systems is Interdisciplinary

- The field of Multiagent Systems is influenced and inspired by many other fields:

- Economics
- Philosophy
- Game Theory
- Logic
- Ecology
- Social Sciences

Sociology



- This can be both a strength (infusing well-founded methodologies into the field) and a weakness (there are many different views as to what the field is about)
- This has analogies with artificial intelligence itself

Sistemas Multi-Agentes:

Multiagent Systems is Interdisciplinary

- The field of Multiagent Systems is influenced and inspired by many other fields:
 - Economics
 - Philosophy
 - Game Theory
 - Logic
 - Ecology
 - Social Sciences
- This can be both a strength (infusing well-founded methodologies into the field) and a weakness (there are many different views as to what the field is about)
- This has analogies with artificial intelligence itself

Teoria de Jogos:

Competição
Cooperação
Ganho / Perda
Reputação

9

Maio 2010

"An Introduction to MultiAgent Systems" by Michael Wooldridge, John Wiley & Sons, 2002

Sistemas Multi-Agentes:

Questões...

- What are multi-agent systems?
- What are the problems with teams of multiple agents?
- What is heterogeneity in multi-agent systems?
- How do we control multi-agent systems?
- How do agents cooperate in multi-agent systems?
- How do agents communicate in multi-agent systems?
- How do agents work on a goal in multi-agent systems?

Tasks, Agents (sensors/actuators), Goals, Organization
AEIO = Agent, Environment, Interaction, Organization

10

Maio 2010

Sistemas Multi-Agentes:

Conceitos:

- SMA Homogêneo / Heterogêneo
- SMA Abertos / Fechados (projeto único, objetivo comum)
- Agentes: Especificação de Recursos e Capacidades
- Plano de Ação, Divisão de Tarefas e Coordenação:
 - * Sistema Centralizado
 - * Sistema Hierárquico
 - * Sistema Distribuído e Descentralizado
 - * Negociação Tarefas e Objetivos: Papéis, Autoridade, Comportamentos
- Comunicação:
 - * Broadcast, MultiCast, Peer-to-Peer
- Conhecimentos: Local, Centralizado, Distribuído

Sistemas Multi-Agentes:

Conceitos:

Tipos de Cooperação

- *Active Cooperation*: Acknowledging one another and working together
- *Non-active Cooperation*: Individually pursue a goal without acknowledging other robots but cooperation emerges
- *Physical Cooperation*: Physically aid each other or interact in similar ways

Tipos de Objetivos

- *A shared single goal*: All robots in the collection work on attaining the same explicit goal
- *Individual goals*: Each robot has a single goal and shares a common goal
- *Emergent cooperation*: Not the same as having a single goal



Sistemas Multi-Robóticos: SMA

Sistemas Multi-Agentes:

Aplicações:

- Enxames

ACO – Ant Colony Optimization
Swarms



13

Maio 2010

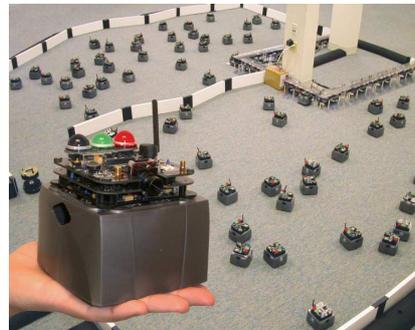
Sistemas Multi-Robóticos: SMA

Sistemas Multi-Agentes:

Aplicações:

- Enxames

ACO – Ant Colony Optimization
Swarms



14

Maio 2010

Sistemas Multi-Agentes:

Aplicações:

- Enxames

ACO – Ant Colony Optimization

Swarms

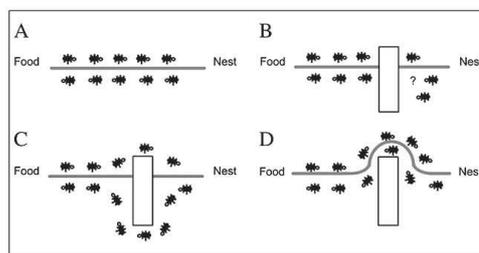
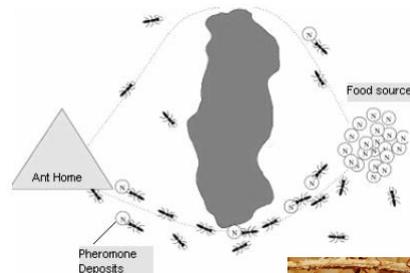


Figure 2. A. Ants in a pheromone trail between nest and food; B. an obstacle interrupts the trail; C. ants find two paths to go around the obstacle; D. a new pheromone trail is formed along the shorter path.



Exploração
Coordenação
Otimização



15

Maio 2010

Sistemas Multi-Agentes:

Vantagens:

- “Unidos venceremos”, “A união faz a força”
=> Ganho coletivo, cumprir uma tarefa, atingir objetivos
- Otimização: distribuição de tarefas, colaboração
- Explorar melhor os recursos disponíveis
- Agregar capacidades, conhecimentos e força

Robótica:

Cooperação, Estratégia, Colaboração, Ação Coordenada

Equipe, Grupos, Times, Enxames, ... **Sistemas Multi-robóticos**

16

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Conceitos:

Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada:

- Comunicação Implícita (sensores – através do ambiente) ;
- Comunicação Explícita (troca de mensagens);

Tipos de Tarefas:

- Colaboração: robôs cooperam para alcançar um objetivo comum;
- Competição: predador(es)-presa(s), futebol de robôs;
- Otimização do Desempenho: busca e resgate de vítimas, mapeamento do ambiente de forma distribuída;

Tipos de Coordenação:

- Centralizada
- Distribuída
- Hierárquica
- Auto-Organizada

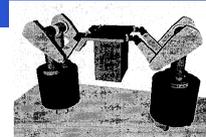
17

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

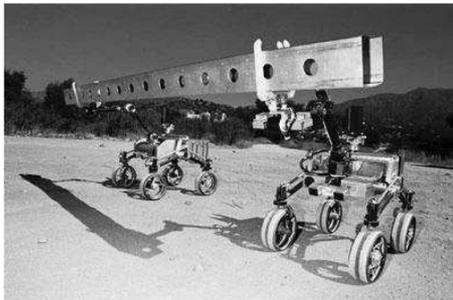
Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações:



Cooperation by multiple branching robots

Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



Robots performing a cooperative task (Courtesy: NASA/JPL-Caltech).



"The Augmented Object Model: Cooperative Manipulation and Parallel Mechanism Dynamics"; Chang, K., Holmberg, R., Khatib, O. Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, April 2000, pp. 470-475.

R. Fierro, L. Chaimowicz, V. Kumar "Multi Robot Cooperation".
In Autonomous Mobile Robots: Sensing, Control, Decision-Making, and Applications.
S. S. Ge and F. L. Lewis (Eds.). CRC Press - Taylor & Francis Group, pp. 417-459, 2006

18

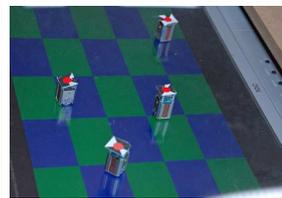
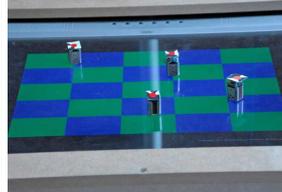
Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações :

Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



19

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

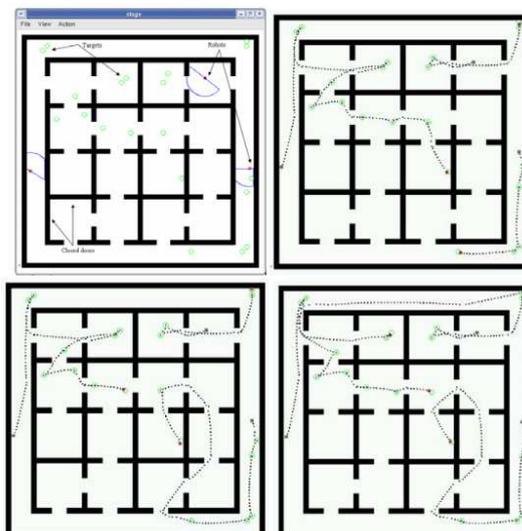
Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações :

Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



Multi-robot team composed of air and ground vehicles.



Multi-Robot Systems:
From Swarms to Intelligent Automata (Volume III),
Proceedings from the
2005 International Workshop on Multi-Robot Systems.
Edited by
LYNNE E. PARKER,
FRANK E. SCHNEIDER,
ALAN C. SCHULTZ

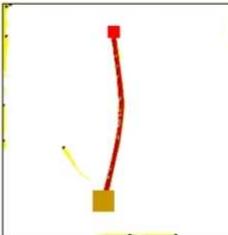
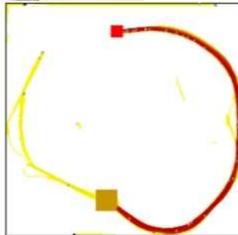
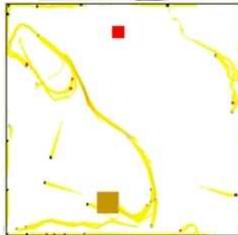
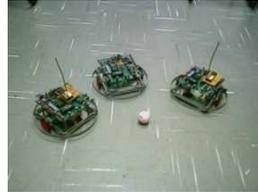
20

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações: Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada



21

Mai 2010

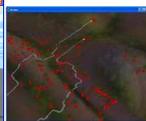
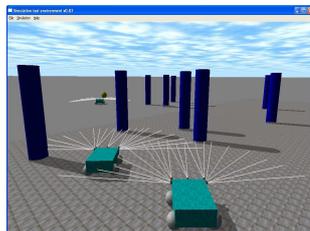
Eduardo Simões

Sistemas Multi-Robóticos

Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações: Equipes de Robôs que realizam tarefas de forma coordenada

RoBombeiros - Simulador Robôs para Combate à Incêndios



G.Pessin
F.Osório



22

Mai 2010

Sistemas Multi-Robóticos

Coordenação de Sistemas Multi-Robóticos:

Aplicações:

Grupos Robóticos / Enxames Robóticos

- Monitoramento e Segurança de Ambientes
- Mapeamento Cooperativo de Ambientes
- Reação a Incidentes e Resgate em Acidentes (Segurança)
- Forças Táticas e Estratégicas (Aplicações Militares)
- Times em competições (Futebol de Robôs)

Técnicas:

- Cercar um alvo
- Busca e Exploração em Paralelo
- Predador e Presa
- Formação de Esquadrões e Times
- Otimização
- Divisão de Tarefas e Responsabilidades

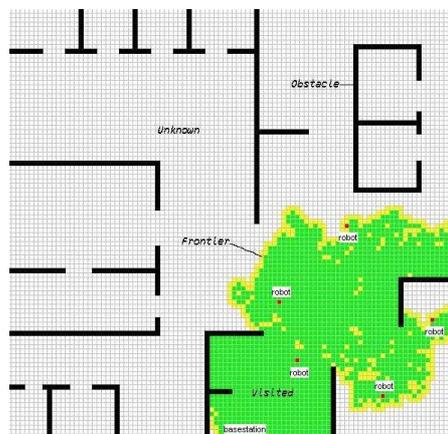
23

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A*

Planejamento de Trajetórias em Equipes



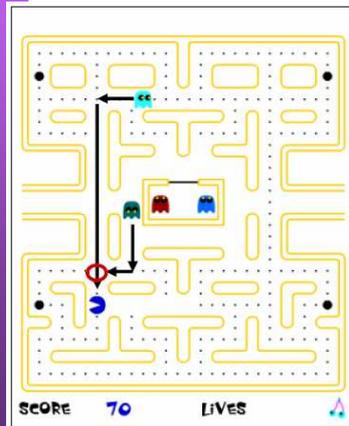
24

Maio 2010

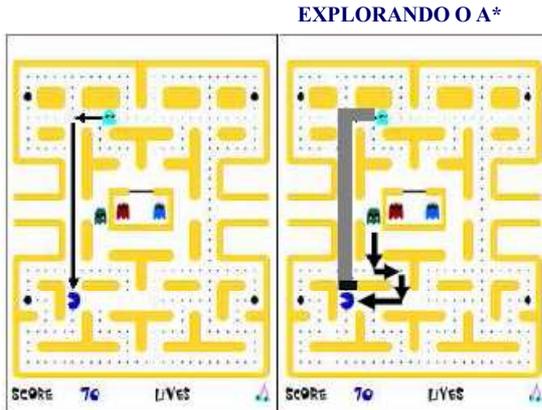
Sistemas Multi-Robóticos

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A*

Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada



Perseguição coordenada

25

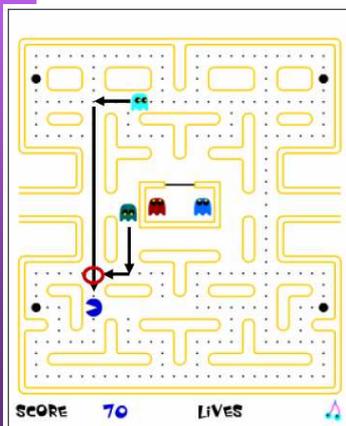
Maio 2010

Tutorial SBGames 2007 - Agentes Especiais. F. Osório et al.

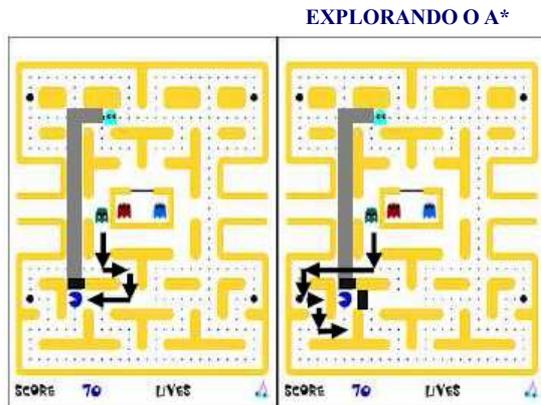
Sistemas Multi-Robóticos

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A*

Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada



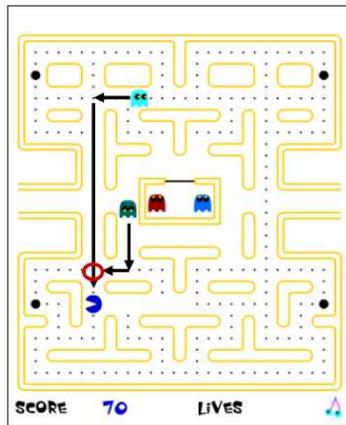
Perseguição coordenada

26

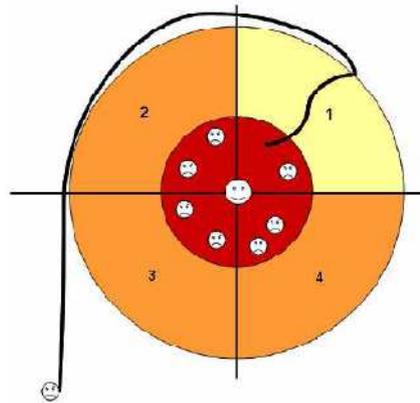
Maio 2010

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: A*

Planejamento de Trajetórias em Equipes



Perseguição não coordenada



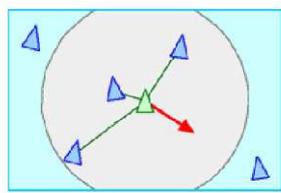
Perseguição coordenada
"Cercar um Alvo"

27

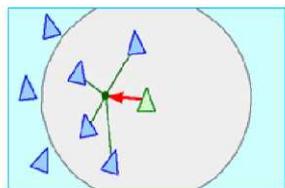
Maio 2010

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: Reynolds

Planejamento de Trajetórias – Boids, Flocks, Steering Behaviors

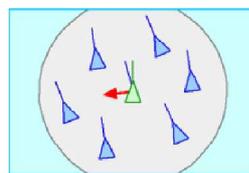


(a) *Separation*: Direcionar o movimento dos agentes para evitar um aglomeramento local dos membros do grupo.

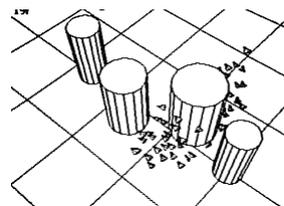


(c) *Cohesion*: Direcionar o movimento de modo a ir em direção a posição central média dos membros do grupo.

Boids [Reynolds 2007]



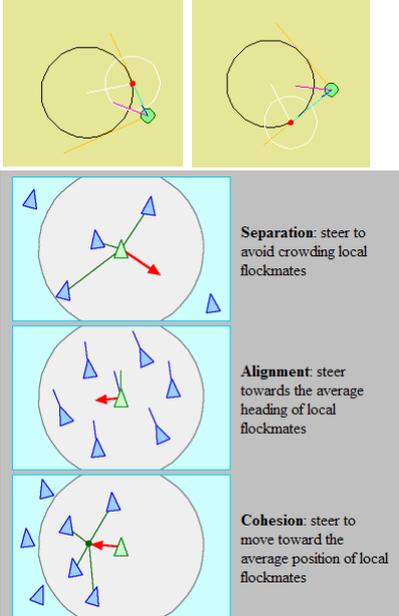
(b) *Alignment*: Direcionar o movimento de modo a seguir o alinhamento médio (*heading*) dos membros do grupo.



28

Maio 2010

Sistemas Multi-Robóticos



Separation: steer to avoid crowding local flockmates

Alignment: steer towards the average heading of local flockmates

Cohesion: steer to move toward the average position of local flockmates

[Craig Reynolds]

Path Following

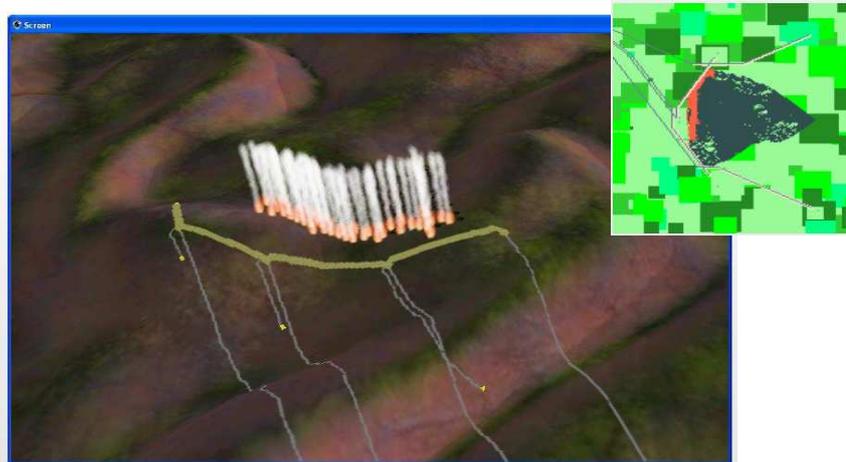
Obstacle Avoidance

Wall Following

Sistemas Multi-Robóticos

Comportamentos em Sistemas Multi-Robóticos: Robombeiros

Planejamento de Trajetórias – Otimização usando G.A.



Referências – Sistemas Multi-Robóticos:

>> Ferramentas

A* => <http://www.inf.unisinos.br/~sbgames/anais/tutorials/>
Reynolds Boids => <http://www.red3d.com/cwr/boids/>
Reynolds Steering => <http://www.red3d.com/cwr/steer/>
Robombeiros => <http://pessin.googlepages.com/>

>> Referências

Stanford Robotics Institute: Romeo and Juliet
Swarm-Bots Project => <http://www.swarm-bots.org/>
Futebol de Robôs: Peter Stone and Manuela Veloso
CyberMouse RTSS2008 => <http://www.iceta.pt/lse/ciberRTSS08/info.htm>



INFORMAÇÕES SOBRE A DISCIPLINA

USP - Universidade de São Paulo - São Carlos, SP
ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
SSC - Departamento de Sistemas de Computação

Prof. Fernando Santos OSÓRIO

PAE Maurício Acconcia Dias

Web institucional: [Http://www.icmc.usp.br/ssc/](http://www.icmc.usp.br/ssc/)

Página pessoal: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

E-mail: [fosorio\[at\]{ icmc.usp.br, gmail.com }](mailto:fosorio@icmc.usp.br) # [maccdias\[at\]gmail.com](mailto:maccdias@gmail.com)

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos

Web Disciplinas: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,

> Material de Apoio, Trabalhos Práticos