



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

# Sistemas Multiagente

**Mestrado Integrado em Engenharia Informática**

**Mestrado em Engenharia Informática**

Perfil SI :: **Agentes e Sistemas Multiagente**

**Viver em sociedade**



## Sociedades



- Soluções distribuídas para problemas complexos;
- Modelos de sociedades para explicar certos aspectos relacionados com o surgimento do comportamento social;
- Simular sociedades reais para fins educacionais ou de entretenimento...

- Inteligência Artificial Distribuída
- Sistemas Multiagente
  - Motivações
  - Aplicações
- Interação
- SMA fechado e aberto
- Comunicação
  - Atos de Discurso
  - KQML
  - FIPA – ACL
  - Modelo de Comunicação
- Sistemas Baseados em Quadros Negros
- Coordenação em SMA
- Áreas de Aplicação e Ferramentas
- Conclusões, Bibliografia e Recursos Eletrónicos



## Inteligência Artificial Distribuída

- **Inteligência Artificial Distribuída (IAD):**

- “Ramo da Inteligência Artificial que estuda a resolução de problemas através de sistemas computacionais distribuídos”.

[Bond & Gasser, 1988]



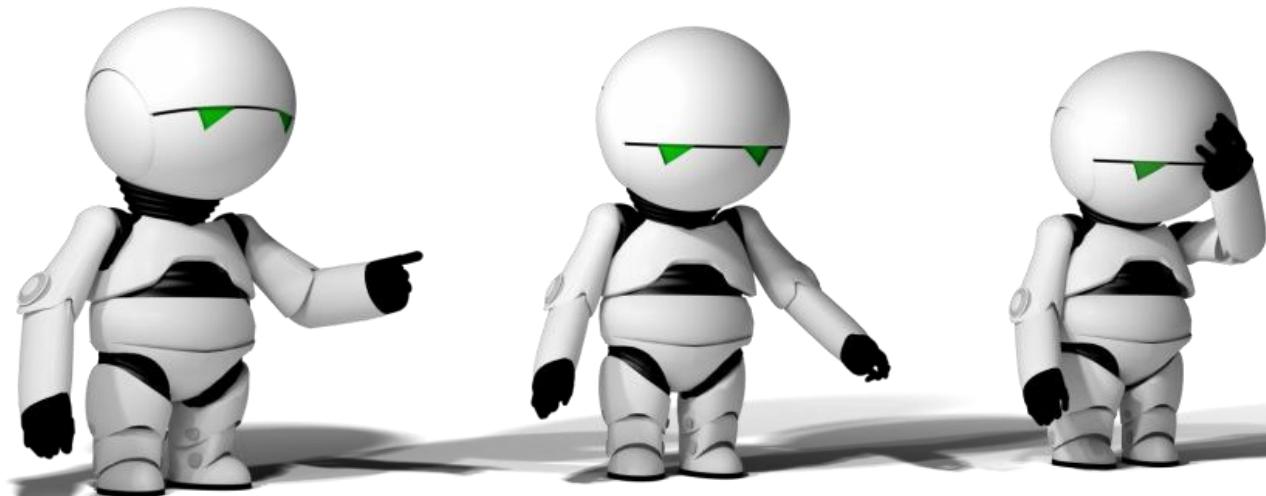
## **Inteligência Artificial Distribuída Agentes e Sistemas Multiagente**

- “Estudo, construção e aplicação de sistemas em que diversas entidades computacionais (agentes ou Sistemas Multiagente - SMA) interagem e perseguem um conjunto de objetivos e/ou realizando um conjunto de tarefas”.

[Weiss, 1999]



- “As plataformas de computação e os sistemas de informação atuais são heterogéneos, abertos e distribuídos”.
- Os agentes e os SMA surgem como uma nova Metodologia Computacional da Engenharia de *Software*;
- A ideia chave passa a ser “O agente inteligente que interage”.



- “Algo que age; capaz de produzir um efeito”.



## Noção de Sistema Multiagente

- Um Sistema Multiagente (SMA) comprehende um conjunto de entidades (agentes) que cooperam por forma a solucionar um dado problema, o que normalmente está além das suas capacidades individuais.

[Durfee & Rosenthal, 1994]



- Dimensão dos problemas envolvidos;
- Problemas geograficamente e/ou funcionalmente distribuídos;
- Informação e conhecimento dispersos;
- Permite a interconexão de múltiplos sistemas (*Legacy systems*);
- Paralelismo, Robustez e Escalabilidade.



## Aplicações de SMA

- Adequados para:

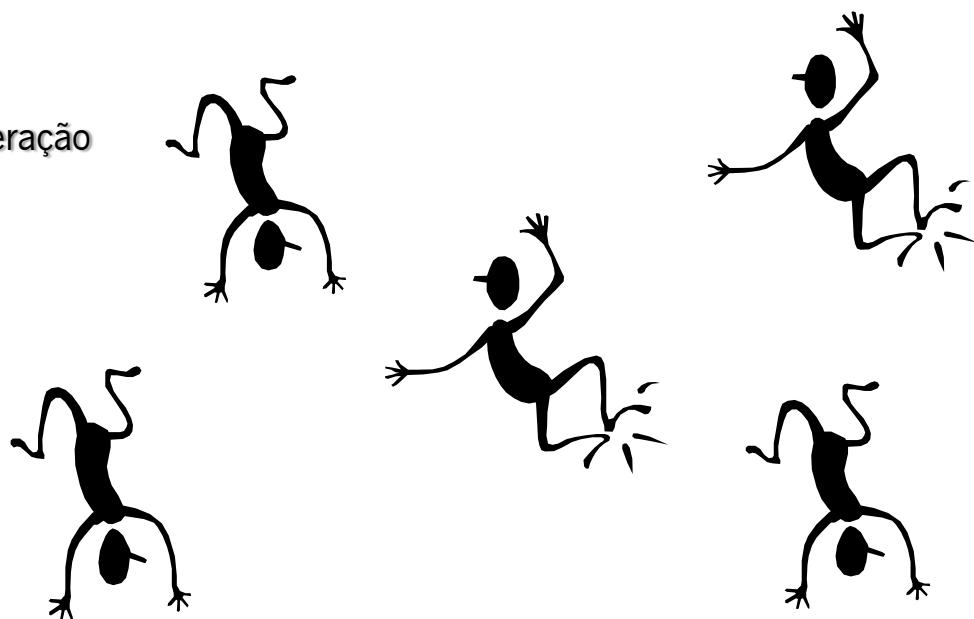
- Construir sistemas para resolver problemas complexos, que não podem ser resolvidos por um qualquer agente individual;
- Lidar com problemas que envolvem vários métodos de resolução de problemas, exigindo diferentes tipos de competências e conhecimentos, ou onde existem múltiplos pontos de vista;
- Criar sistemas onde são necessárias formas dinâmicas de reorganização;
- Tarefas em que a informação e os recursos são distribuídos.

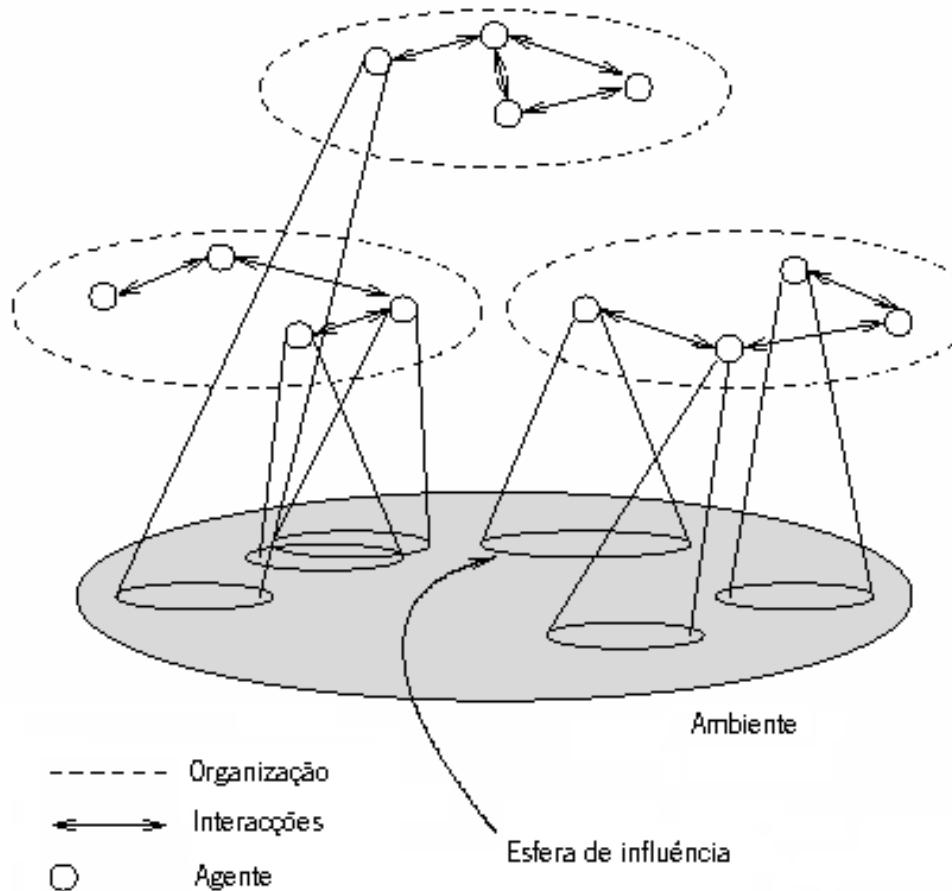


- Extensibilidade e flexibilidade;
- Robustez e confiabilidade;
- Eficiência e rapidez do ponto de vista computacional;
- Desenvolvimento e manutenção;
- Reutilização;
- Custos reduzidos.



- Não existem mecanismos de controlo global;
- Cada agente tem conhecimento incompleto e capacidades limitadas;
- A informação é descentralizada;
- As comunicações são assíncronas;
- São possíveis múltiplas formas de interação (p.ex., colaboração, competição).





Wooldridge, 1999

- Comportamentos sociais e individuais
  - Como especificar os comportamentos sociais dos agentes?
  - Como é que os comportamentos dos outros e da sociedade influenciam o comportamento individual?
  
- Estrutura da organização
  - Como organizar uma sociedade de agentes para que, globalmente, a tarefa desejada seja cumprida?
  - Qual o tipo de estrutura mais adequada para a tarefa em causa?
  - Como definir os aspetos do comportamento individual para que sejam integrados na sociedade levando a um comportamento global desejado?
  - Que tipo de mecanismos há que levem ao surgimento e desaparecimento de sociedades?



- Comunicação

- Que tipo de comunicação entre agentes é a mais adequada à estrutura escolhida?
- Que linguagens de comunicação existem e podem ser usadas para a comunicação entre agentes numa sociedade de agentes?
- Que conceitos (ontologias) são necessários ser partilhados para que os elementos da sociedade consigam interpretar as mensagens recebidas?

- Coordenação cooperativa e competitiva

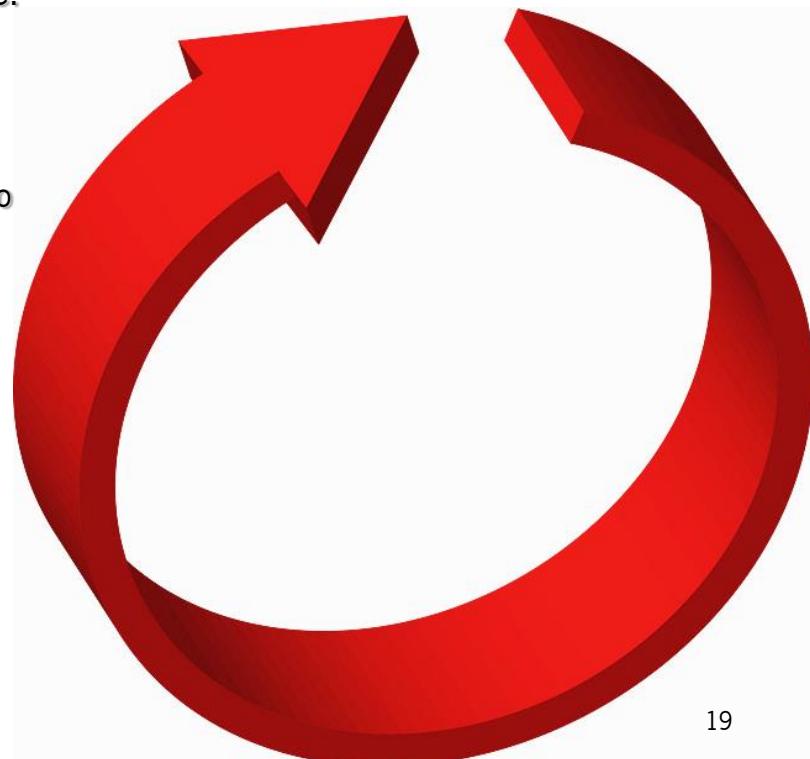
- Que mecanismos de coordenação são necessários para que os agentes executem cooperativamente uma dada tarefa?
- Que estruturas de organização são as mais adequadas para determinados tipos de coordenação?
- Que linguagens existem que possam ser usadas para permitir a cooperação e a competição entre agentes numa sociedade?



## Interoperabilidade

- Capacidade de um sistema (informático ou não) comunicar de forma transparente com outro sistema (semelhante ou diferente).
  - Para um sistema ser considerado interoperável, é muito importante que ele trabalhe com padrões abertos.
- Um sistema multiagente é, tipicamente, um sistema aberto, complexo e heterogéneo, em que se realizam atividades coordenadas.
- A coordenação de atividades neste tipo de ambientes exige linguagens e sistemas de comunicação apropriados:
  - Sintaxe padronizada  
(normas de comunicação ao nível da estrutura das mensagens e da gestão dos canais de comunicação);
  - Semântica padronizada  
(normas sobre o conteúdo das mensagens/ontologias partilhadas).
- A desvantagem destes sistemas padronizados é a de poderem não se adaptar facilmente às situações concretas;  
(o sempre difícil equilíbrio entre padronização e flexibilidade).

- Arquitetura de desenho estático, com componentes e funcionalidades pré-definidos;
- As propriedades do sistema são conhecidos antecipadamente:
  - Linguagem comum;
  - Cada agente pode ser desenvolvido como um *expert*;
  - Os agentes são (normalmente) cooperativos;
  - Múltiplas pessoas podem trabalhar em prol do desenvolvimento do sistema, ao mesmo tempo.  
(p. ex., um SMA numa organização)



## **SMA Fechado**

### **Vantagens e Desvantagens**

- Carga e perícia distribuídas;
- Simplicidade e previsibilidade, uma vez que:
  - Os componentes são conhecidos;
  - A Linguagem de interação e os protocolos são conhecidos;
  - Os agentes (normalmente) ostentam comportamentos cooperativos;
  - Os agentes partilham a arquitetura e o software.



- Custos de manutenção podem ser elevados;
- Pode ser menos tolerantes a falha;
- Difícil a interoperabilidade com outros sistemas.



- O sistema não tem um desenho ou arquitetura prévios, apenas agentes no seu seio;
- Os agentes não têm, necessariamente, consciência da existência dos outros;
- É exigido um mecanismo para identificar, localizar e procurar outros agentes;
- Os agentes podem ser não-cooperativos, maliciosos ou não-confiáveis;  
(p.ex., mercados electrónicos)



## **SMA Aberto**

### **Vantagens e Desvantagens**

- Agentes e/ou grupos de agentes são concebidos separadamente (modularidade);
- Flexíveis e tolerantes a falhas;
- Desenvolvimento incremental do sistema ; (ao longo do tempo)
- Manutenção facilitada;
- Sociedade aberta e dinâmica.



- O comportamento geral do sistema não é previsível;
- Os protocolos, a linguagem, as ontologias, podem variar entre agentes;
- Podem surgir comportamentos maliciosos, difíceis de evitar.

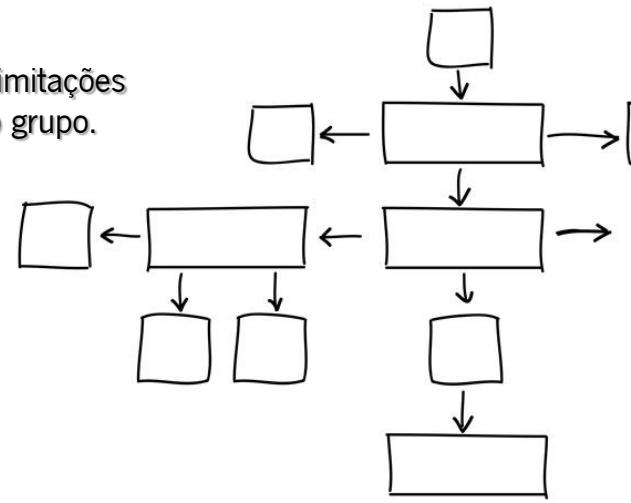


- A interação entre os agentes de um SMA obriga à análise, definição, especificação e implementação de um conjunto base de funcionalidades:
  - Plataforma de comunicação:
    - Meio físico de transmissão da informação;
  - Linguagem de comunicação:
    - Significado individual das mensagens;
  - Ontologia:
    - Definição do modo de estruturação da comunicação;
  - Arquitetura/formas de organização:
    - Determina a interligação entre os sistemas.



## Propriedades das Estruturas

- Uma estrutura especifica os papéis e as relações entre agentes.
- Cobertura:
  - cada porção necessária ao problema completo deve estar dentro das capacidades de resolução de problemas de, pelo menos, um dos agentes;
- Ligação:
  - os agentes devem interagir de forma a permitir que as atividades cobertas possam ser desenvolvidas e integradas numa solução completa;
- Competência:
  - a cobertura e a ligação devem ser atingíveis com as limitações quer de comunicação quer de recursos, existentes no grupo.



## Organização Hierarquizada

- A autoridade é dada a um único agente de topo na hierarquia;
- Comunicação vertical.



## Comunidade de Especialistas

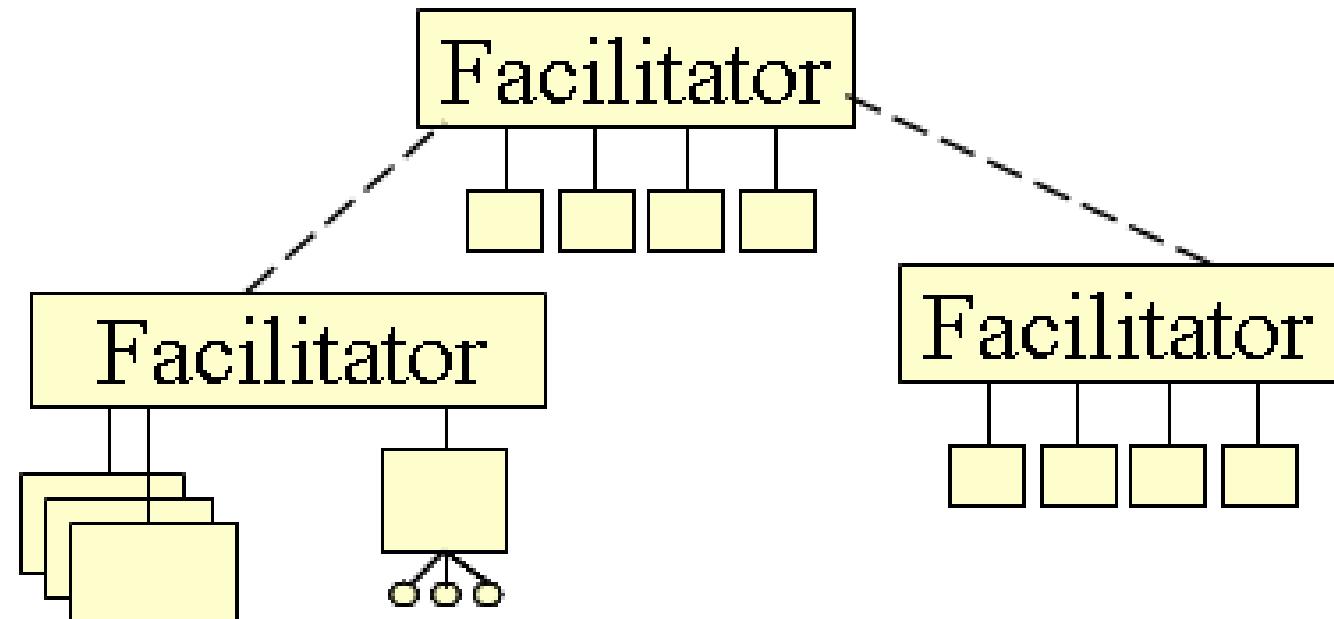
- Os agentes são vistos como especialistas, com a mesma importância;
- Organização do tipo horizontal (plana).



## Organização Baseada em Mercados

- Os agentes competem pelos recursos através de leilões (lances) e de contratos.





## Alocação por Tarefas

- Alocação dinâmica;  
(p.ex., Redes de Contratação - CNP)



- A comunicação é essencial em ambientes onde existem diversas tarefas que concorrem para um dado fim de forma cooperante ou concorrente;
- A existência de tarefas distribuídas é inerente ao próprio conceito de SMA, logo a comunicação é essencial;
- É necessário assegurar (assumindo uma distribuição geográfica):
  - Suportes físicos: estruturas de rede para a propagação dos sinais de transporte de informação através do meio;
  - Suportes de interação: pilha protocolar que assegura a troca das mensagens (sobre o suporte físico) e a sua compreensão;



## Cenários de Comunicação (I)

- Sociedade sem comunicação:

- não há progresso da comunidade como um todo;
- mesmo com agentes extremamente desenvolvidos não há capacidade de resolução;



## Cenários de Comunicação (II)

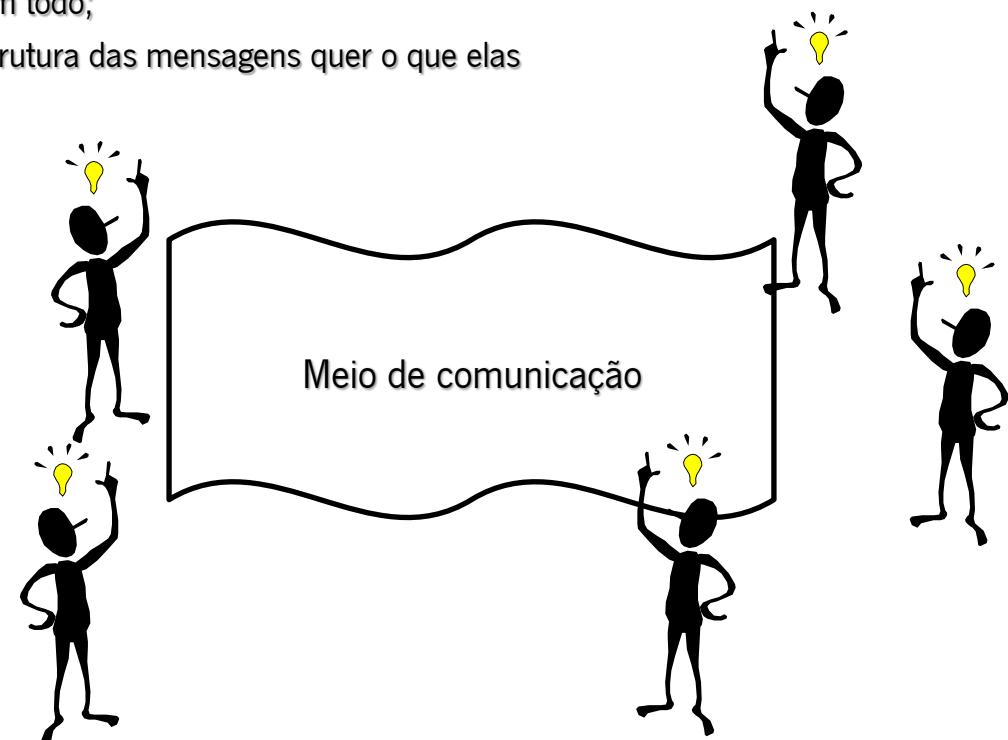
- Sociedade com comunicação:

- não há progresso da comunidade como um todo;
- mesmo com agentes extremamente desenvolvidos não há capacidade de resolução;
- igual a uma comunidade em que cada um fala a sua língua...



## Cenários de Comunicação (III)

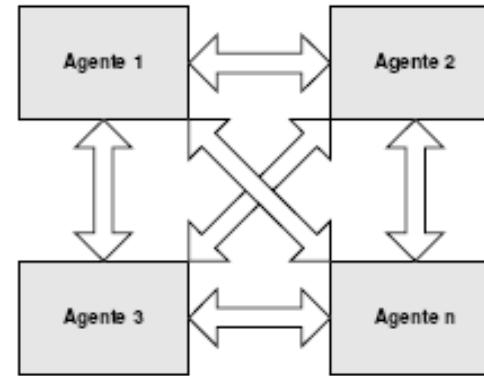
- Sociedade com comunicação e com preocupações sintáticas e semânticas:
  - há progresso da comunidade como um todo;
  - há capacidade de entender quer a estrutura das mensagens quer o que elas significam intrinsecamente;



## Comunicação em SMA

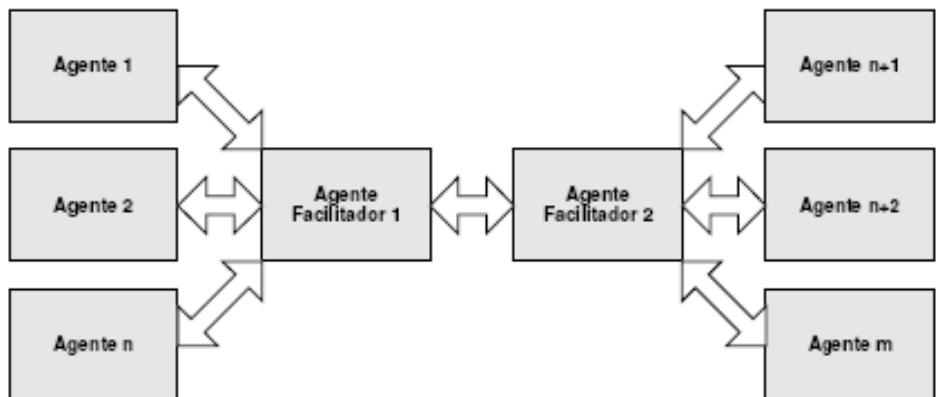
- Comunicação Direta:

- memória partilhada por todos os agentes;



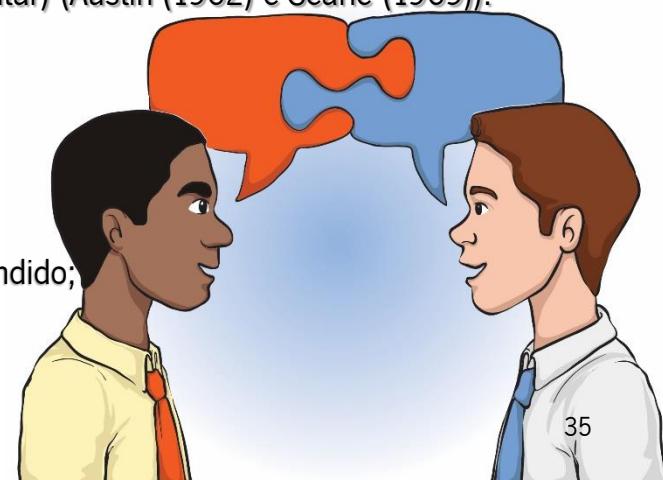
- Comunicação Assistida

- passagem de mensagens entre agentes;



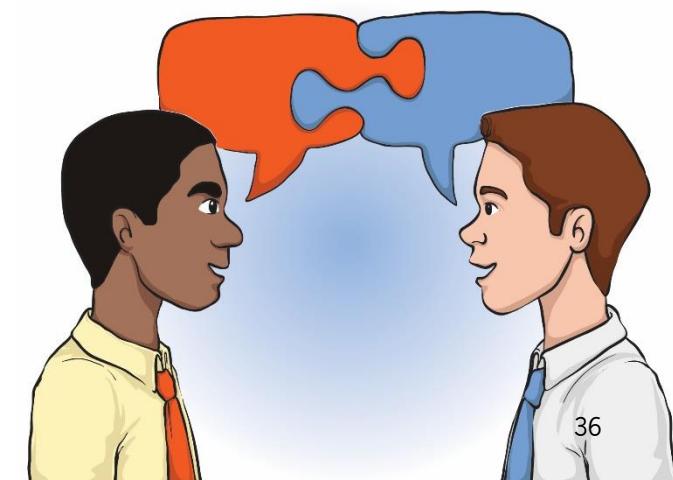
## Atos de Discurso (I) (*Speech Acts*)

- Sendo os agentes entidades que se pretendem antropomórficas, é lógico que os mecanismos de comunicação usados pelos humanos sejam considerados;
- Como se sabe, o tratamento de linguagem natural é bastante complexo, logo não se adequa diretamente a este processo;
- Surge, então, a ideia de usar a *Speech Act Theory* (SAT):
  - tratamento da comunicação como ação;
  - reduz a linguagem aos elementos indicativos de ação (p.ex., dizer, perguntar) (Austin (1962) e Searle (1969)).
- A análise da SAT foca:
  - Locução:
    - o ato de construção da frase; a articulação da mensagem;
  - Elocução:
    - a ação executada quando é dito algo; o conteúdo semântico pretendido;
  - Perlocução:
    - o efeito do ato; a ação resultante no receptor.



## Atos de Discurso (II) (*Speech Acts*)

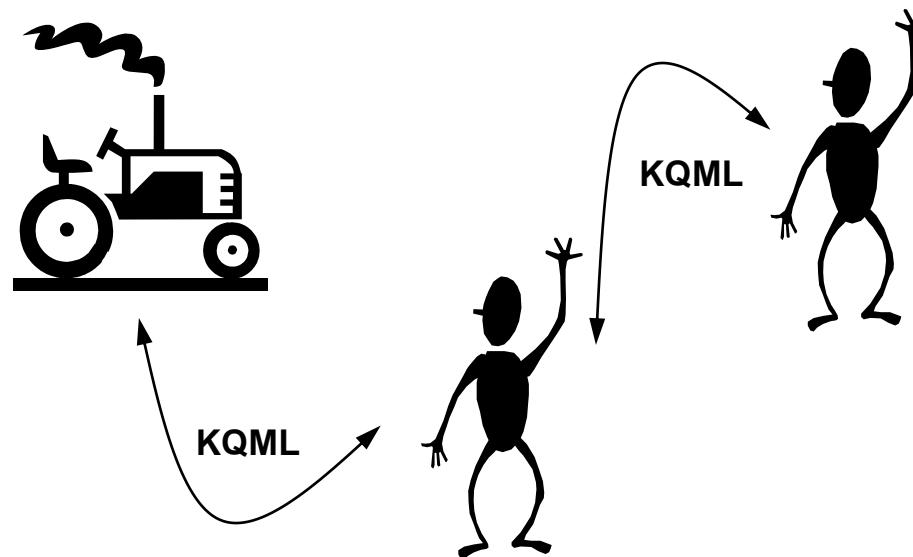
- A SAT usa o termo “*performative*” para indicar a elocução que implica ação;
- Nenhuma consideração é tecida face à dificuldade de resolução da ação pelo recetor; (p.ex., face à indicação desliga a máquina o agente recetor terá alguma dificuldade em o fazer se estiver perante 100 máquinas...);



- A ARPA lançou o *Knowledge Sharing Effort* (KSE):
  - um consórcio que visa o desenvolvimento de mecanismos para compartilhar e usar Bases de Conhecimento;
- Do KSE surge a KQML:
  - linguagem e protocolo para a comunicação entre diferentes sistemas baseados em conhecimento ou agentes inteligentes;
- Faz uso de alguns conceitos da SAT e visa solucionar o problema do estabelecimento de uma sintaxe e semântica comuns entre elementos distribuídos;  
(conseguido? talvez...)

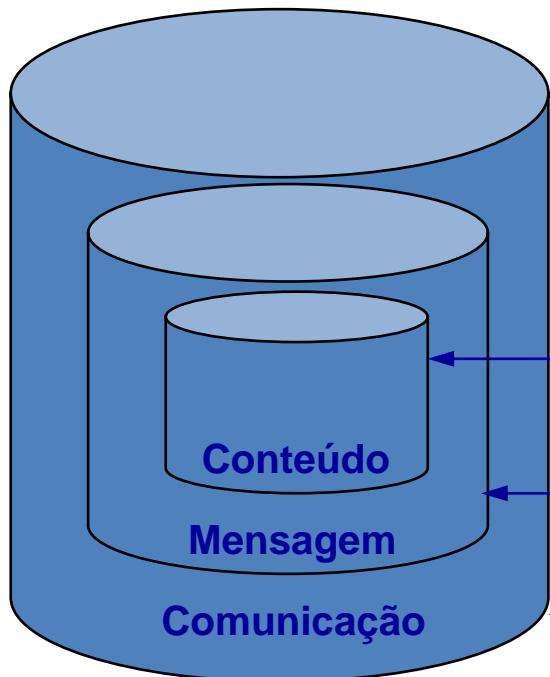


- A KQML visa não só a comunicação entre agentes, mas também ser suficientemente genérica para permitir a comunicação com outros elementos (não) inteligentes;



- A KQML faz uso do conceito de “*performative*”;
- Cada agente, face às *performatives* recebidas, atua sobre uma *Virtual Knowledge Base* (VKB);
- A sintaxe é semelhante à do LISP, mas os argumentos podem ocorrer em qualquer ordem;
- Os mesmos conceitos do KQML surgem na *Agent Communication Language* (ACL).  
Apenas variações nas *performatives* são executadas;
- Para haver *compliance* de um agente ou aplicação com KQML não é necessário implementar todas as *performatives*.

## Níveis de Estruturação



### Mensagens estruturadas em 3 níveis

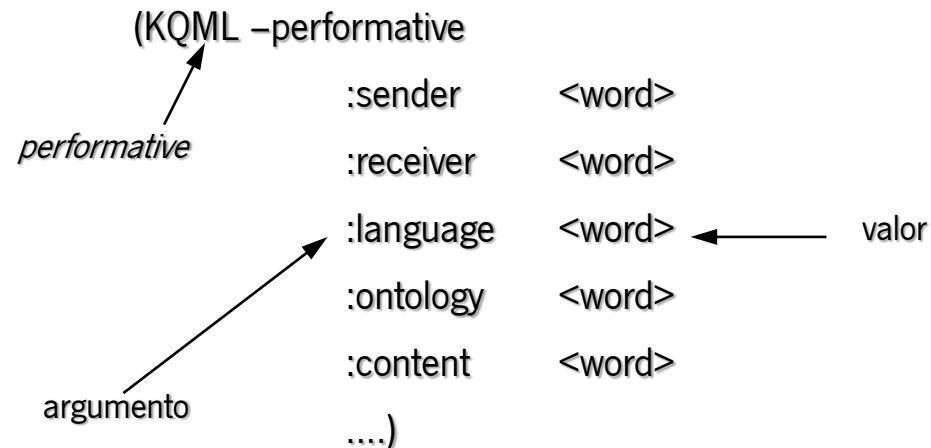
conteúdo sem interpretação: ASCII ou binário.

dá informações acerca do **conteúdo**: linguagem deste, ontologia, etc.

conjunto de propriedades de baixo nível tais como: remetente, destinatário e o identificador da comunicação.

## Estrutura de Mensagens

- Estrutura básica:



- Basic query performatives:
  - Evaluate, ask-if, ask-in, ask-one, ask-all
- Multi-response query performatives:
  - Stream-in, stream-all
- Response performatives:
  - Reply, sorry
- Generic informational performatives:
  - Tell, achieve, cancel, untell, unachieve
- Generator performatives:
  - Standby, ready, next, rest, discard, generator
- Capability-definition performatives:
  - Advertise, subscribe, monitor, import, export
- Networking performatives:
  - Register, unregister, forward, broadcast, route

- O agente A envia ao agente B:

```
(evaluate :language PROLOG
    :ontology prices
    :reply-with id1
    :content price(p1,t1,P))
```

- O agente B poderá responder:

```
(reply :language KIF
    :ontology prices
    :in-reply-to id1
    :content (scalar 50 pte))
```

- O agente A envia ao agente B:

```
(stream-all :sender agentA :receiver agentB  
          :language PROLOG :ontology weather  
          :reply-with id2 :content tempsensor1)
```

- O agente B poderá responder:

```
(tell :sender agentB :receiver agentA  
      :language PROLOG :ontology weather  
      :in-reply-to id2 :content temperature(10,23)).  
  
(tell :sender agentB :receiver agentA  
      :language PROLOG :ontology weather  
      :in-reply-to id2 :content temperature(11,24)).  
  
(eosl :in-reply-to id2)
```

- FIPA ACL (*Agent Communication Language*) – Standard da FIPA para protocolos de interação;
- Baseado em Atos de Discurso;
- Todos as comunicações pode ser definidas em termos das performatives: “informar” e “solicitar”;
- A sintaxe de performatives é semelhante à da KQML:

```
(inform  
  :sender Agent435  
  :receiver Agent450  
  :language Prolog  
  :ontology companyx  
  :content "salary(9876543,32765)")
```

performative	passing info	requesting info	negotiation	performing actions	error handling
accept-proposal			x		
agree				x	
cancel		x		x	
cfp			x		
confirm	x				
disconfirm	x				
failure					x
inform	x				
inform-if	x				
inform-ref	x				
not-understood					x
propose			x		
query-if		x			
query-ref		x			
refuse				x	
reject-proposal			x		
request				x	
request-when				x	
request-whenever				x	
subscribe		x			

Wooldridge, 2002

## Modelo de Comunicação

Diálogos (Auctions, ContractNet, SNP)

Linguagem do Conteúdo (KIF, Prolog, SQL)

Linguagem de Comunicação do Agente (FIPA ACL, KQML)

Envelope da mensagem (FIPA message envelope)

Protocolo de transporte da Mensagem (IIOP, HTTP, RMI)

Transporte e sinal (TCP, UDP)

**Infraestrutura de rede**

- KQML[1] *Knowledge Query Manipulation Language*
  - Linguagem externa para comunicações entre agentes;
  - Invólucro para formatar mensagens que determina o significado locutório da mensagem;
  - Não está preocupado com o conteúdo da mensagem;
- KIF[2] *Knowledge Interchange Format*
  - Destina-se a representar o conhecimento sobre um dado domínio de discurso;
  - Forma de definir o conteúdo de mensagens KQML;
- FIPA/ACL[3] *Foundation for Intelligent Physical Agents – Agent Communication Language*
  - Definição da estrutura das mensagens;
- Ontolingua[4];
- XML[5] *Extended Markup Language*

[1] <http://www.csee.umbc.edu/kqml>

[2] <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>

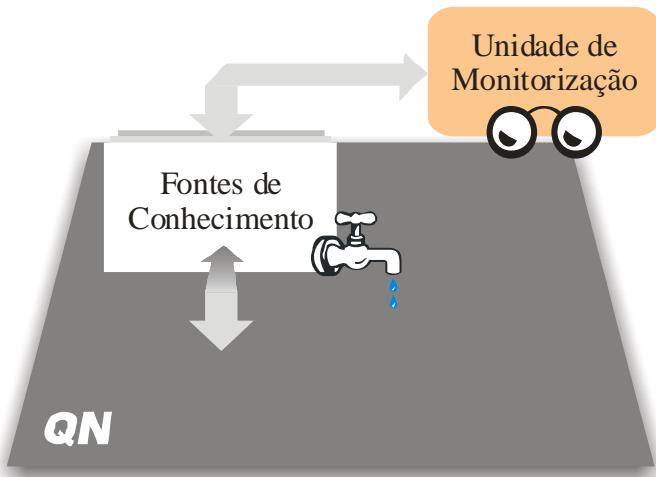
[3] <http://www.fipa.org>

[4] <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua>

[5] <http://www.xml.com>

## Sistemas Baseados em Quadros Negros

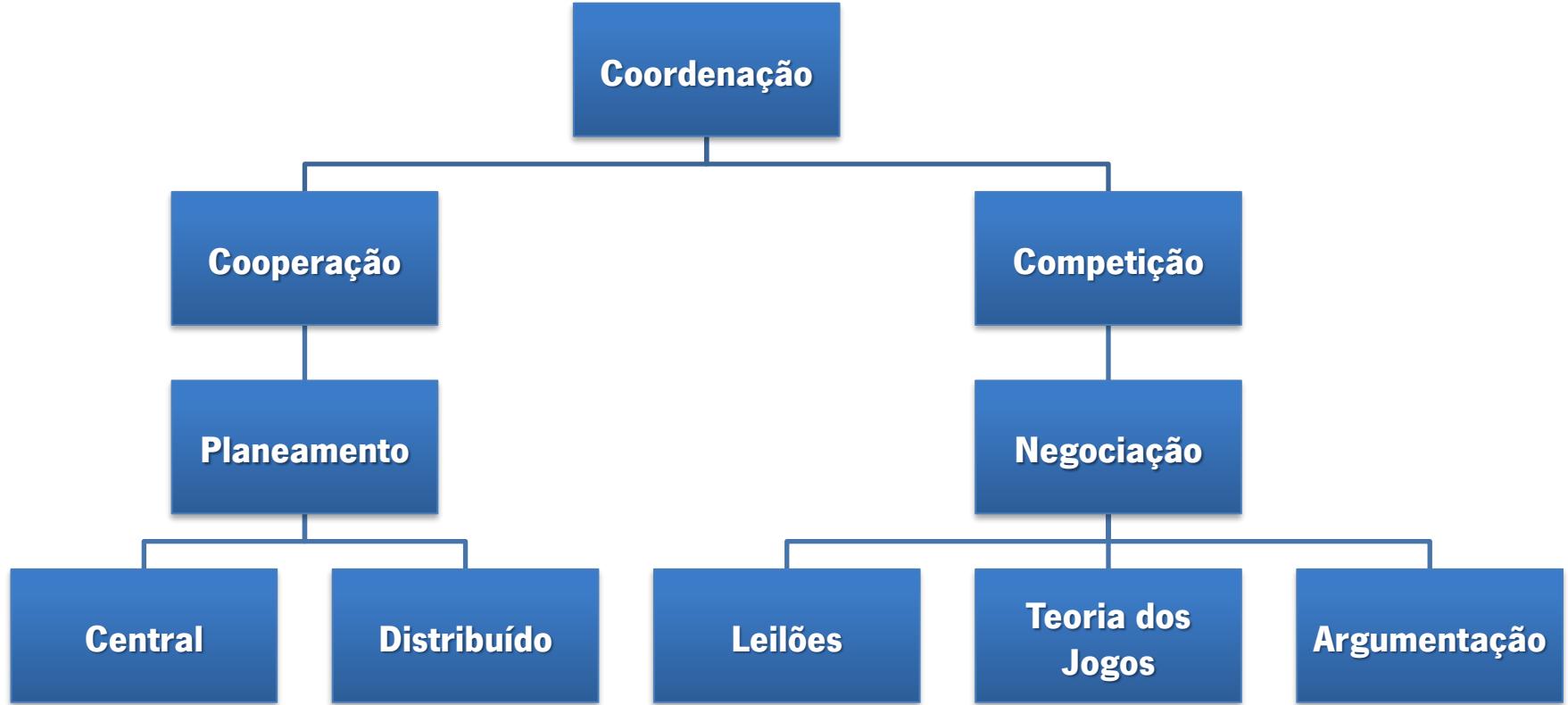
- Um SBQN configura uma espécie de meta-arquitetura:  
(uma arquitetura a partir da qual é possível gerar novas arquiteturas)
  - QN - repositório de conhecimento;
  - FC - representam o conhecimento dos diversos especialistas intervenientes na resolução do problema;
  - UM - é o componente do sistema responsável pelo controlo das alterações ao estado de conhecimento do QN, assim como das ações a executar.



- “Ato de trabalhar em grupo de forma harmoniosa”;  
[Malone et al., 2001]
- Cooperativa:
  - passa por um processo de tomada de decisão em que as partes envolvidas negoceiam, em termos de alcançarem um ou mais objetivos;
- Competitiva:
  - passa por um processo de decisão em que as partes envolvidas competem tendo em conta um único objetivo.



## Coordenação em SMA

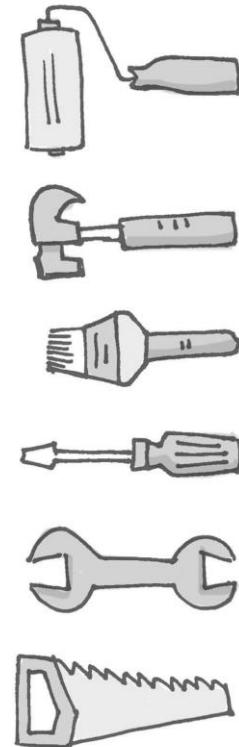


## Áreas de Aplicação

- Industriais
  - Controlo de processos, produção;
- Comerciais
  - Comércio electrónico, gestão de empresas;
- Ensino
  - e-Learning;
- Medicina
  - Monitorização de doentes.
- Entretenimento:
  - Jogos.
- Notar que estas áreas têm alguns denominadores comuns, tais como: a distribuição geográfica, a temporalidade, um certo conteúdo semântico ou mesmo funcional, e a complexidade.

## Algumas Ferramentas

- JADE
  - <http://jade.tilab.com/>
- AgentBuilder
  - <http://www.agentbuilder.com/>
- Zeus
  - <http://more.btexact.com/projects/agents/zeus/index.htm>
- Jatlite
  - <http://java.stanford.edu/>
- Aglets
  - <http://www.trl.ibm.com/aglets/>
- OAA - The Open Agent Architecture
  - <http://www.ai.sri.com/~oaa/>
- MADKIT
  - <http://www.madkit.org/>
- SPADE
  - <https://pypi.org/project/spade/>



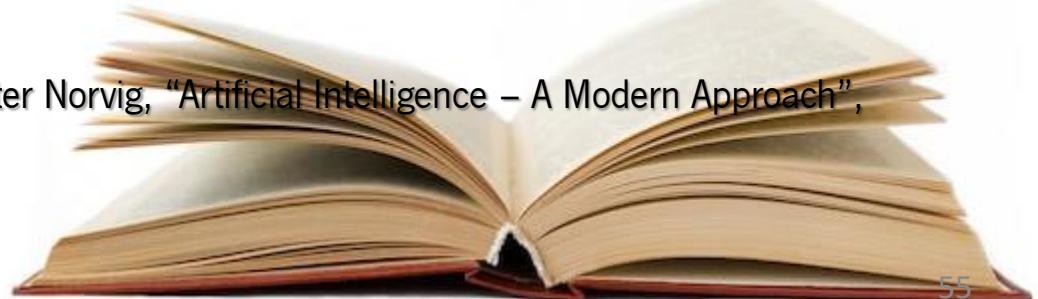
## Conclusões

- Um agente corporiza um sistema computacional capaz de revelar uma ação **autónoma** e **flexível**, desenvolvido num determinado ambiente;
- Um SMA é um sistema computacional em que os **agentes interagem** ou trabalham em conjunto por forma a desempenhar um determinado conjunto de tarefas;
- Coordenar agentes implica colocá-los a trabalhar em conjunto de forma a **atingir um objetivo** comum;
- A coordenação de atividades exige **linguagens e sistemas de comunicação**;
- A coordenação desenrola-se em ambientes **cooperativos** ou **competitivos**.



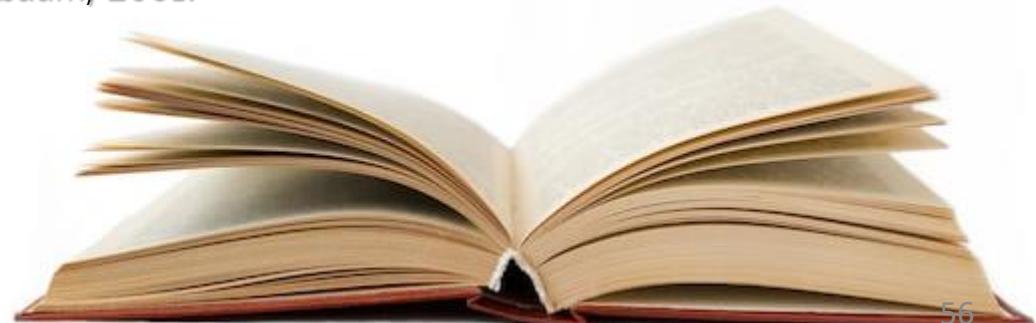
## Referências

- [Wooldridge, 2002] Wooldridge M., An Introduction to Multiagent Systems, John Wiley & Sons, ISBN 0 47149691X, 2002.
- [Palanca, et al., 2022] J. Palanca, A. Terrasa, V. Julian and C. Carrascosa, "SPADE 3: Supporting the New Generation of Multi-Agent Systems," in IEEE Access, vol. 8, pp. 182537-182549, 2020.
- [Luger & Stubblefield, 1998] George F. Luger, William A. Stubblefield, "Artificial Intelligence – Structures and Strategies for Complex Problem Solving", Addison Wesley Longman, Inc., 1998.
- [Bond & Gasser, 1988] Alan Bond, Les Gasser, "Readings in Distributed Artificial Intelligence", Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, EUA, 1988.
- [Weiβ, 1999] Gerhard Weiβ, "Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence", MIT Press, EUA, 1999.
- [Russell & Norvig, 1995] Stuart J. Russell, Peter Norvig, "Artificial Intelligence – A Modern Approach", Prentice Hall International Inc., EUA, 1995.



## Referências

- [d'Inverno & Luck, 2003] d'Inverno M., Luck M., *Understanding Agent Systems*, Springer, ISBN: 978-3540407003, 2003.
- [Ferber, 1999] Jacques Ferber, “Multi-Agent Systems – An Introduction to Distributed Artificial Intelligence”, Addison Wesley Longman, 1999.
- [Durfee & Rosenschein, 1994] Edmund H. Durfee, Jeffrey S. Rosenschein, “Distributed Problem Solving and Multi Agent Systems: Comparisons and Examples”, Proceedings of the International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, Seattle, 1994.
- [Malone et al., 2001] Olson, G. M., Malone, T. W., and Smith, J. B. (Eds.) “Coordination Theory and Collaboration Technology”. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2001.





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

# Sistemas Multiagente

**Mestrado Integrado em Engenharia Informática**

**Mestrado em Engenharia Informática**

Perfil SI :: **Agentes e Sistemas Multiagente**