

# **ARQUITECTURAS COGNITIVAS**

Luís Morgado

ISEL-DEETC

# COMPARAÇÃO DE TIPOS DE ARQUITECTURA

## ARQUITECTURA

### REACTIVA

- Sub-simbólica
- Contínua
- Independente de modelos internos
- Complexidade computacional baixa
- Tempo de resposta baixo
- Soluções sub-óptimas

## ARQUITECTURA

### DELIBERATIVA

- Simbólica
- Discreta
- Dependente de modelos internos
- Complexidade computacional alta
- Tempo de resposta alto
- Soluções óptimas

# EVOLUÇÃO DE ARQUITECTURAS DE AGENTE

- ~1960

- ARQUITECTURAS SIMBÓLICAS

- Agentes utilizam raciocínio simbólico para decidir o que fazer

- ~1980

- ARQUITECTURAS REACTIVAS

- Problemas com as arquitecturas simbólicas levaram à procura de novas soluções, nomeadamente inspiradas na biologia de organismos com mecanismos cognitivos mais simples que os mecanismos cognitivos humanos

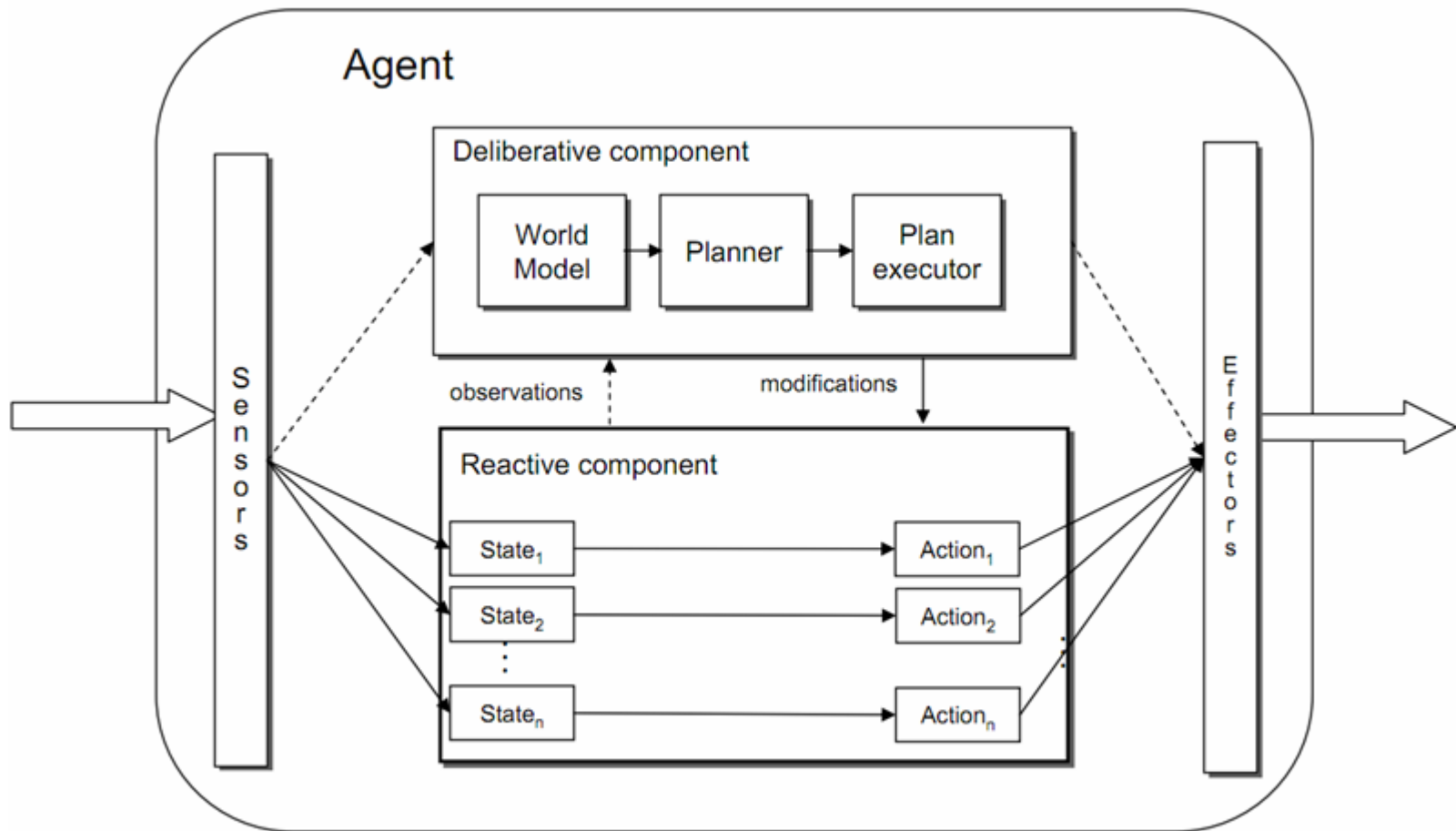
- ~1990

- ARQUITECTURAS HÍBRIDAS

- Tentativa de combinar o melhor das arquitecturas simbólicas e reactivas

# ARQUITECTURA HÍBRIDA

## INTEGRAÇÃO DE REACÇÃO E DELIBERAÇÃO



# ARQUITECTURA HÍBRIDA

- **PLANEAMENTO**

- Abrange horizontes temporais longos
  - Requer conhecimento global
- Computacionalmente intensivo
  - Deve ser dissociado da execução em tempo-real
- Adequado para deliberação de carácter global
  - Selecção de objectivos
  - Selecção de estratégias de acção

- **REACÇÃO**

- Abrange horizontes temporais curtos
  - Requer informação sensorial local
- Computacionalmente eficiente
  - Resposta em tempo-real

# ARQUITECTURA HÍBRIDA

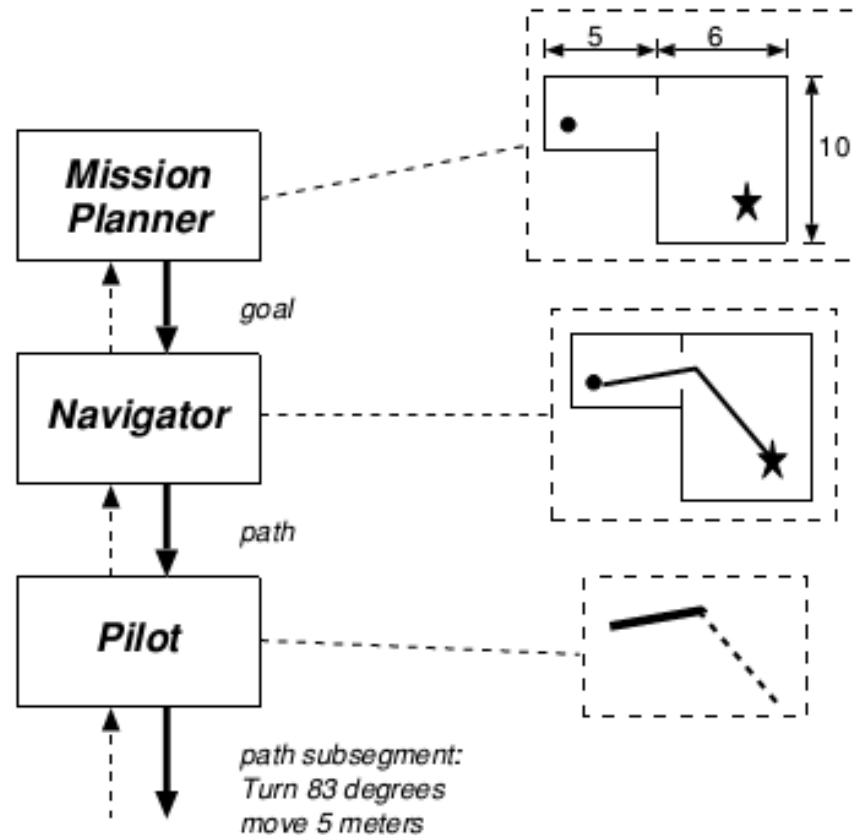
## NÍVEIS DE COMPETÊNCIA

TIPO DE PROCESSO    NÍVEL DE COMPETÊNCIA

Estratégico

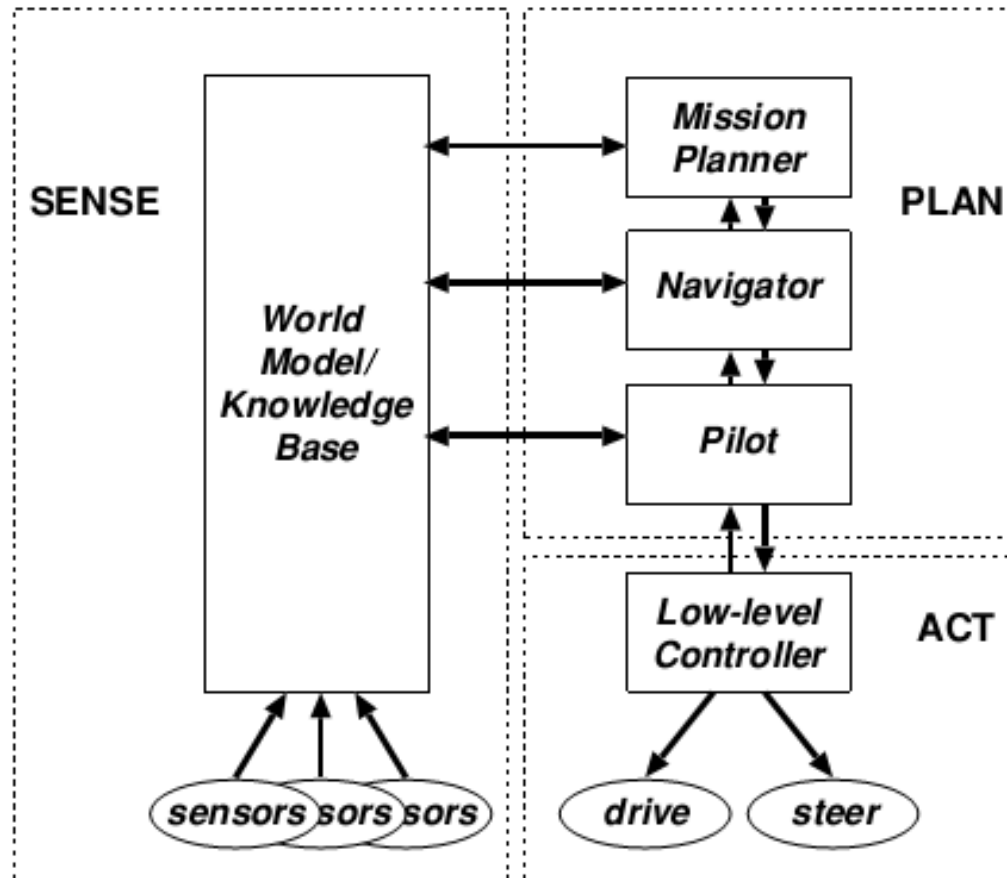
Tático

Executivo



# ARQUITECTURA HÍBRIDA

## INTEGRAÇÃO DE NÍVEIS - ABSTRACÇÃO E MODULARIZAÇÃO



# NÍVEIS DE COMPETÊNCIA

- **NÍVEL ESTRATÉGICO**

- **Processamento deliberativo abstracto**

- Representação de conhecimento simbólico
      - Lógica, inferência
    - Modelos do mundo com diferentes níveis de abstracção
    - Planos abstractos e bibliotecas de planos

- **Alta complexidade computacional**

- **Tempo de resposta elevado**

```
plano(Objectivo, PreCond, Esquema) :-  
    Objectivo = recolher(PosAlvo),  
    PreCond = [elemento(alvo, PosAlvo)],  
    Esquema = [  
        mover(PosAlvo),  
        pegar(PosAlvo)  
    ].
```



# NÍVEIS DE COMPETÊNCIA

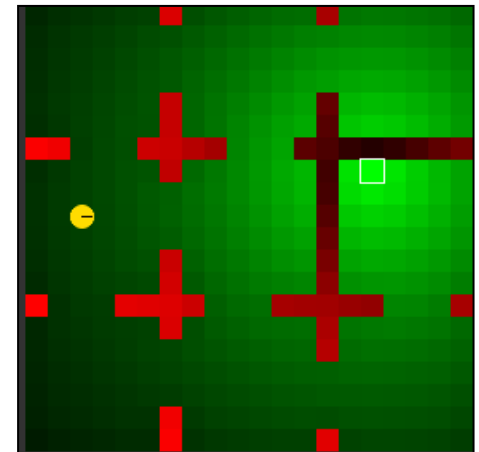
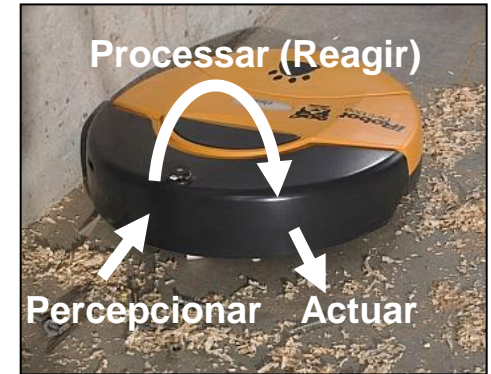
- **NÍVEL TÁCTICO**

- **Segue directivas do nível estratégico**
- **Processamento deliberativo específico**
  - Suportado em modelos internos do mundo
  - Raciocínio prático
    - Orientado para a acção
- **Processamento adaptativo**
  - Formação de modelos internos do mundo
  - Mecanismos de valor
  - Aprendizagem
- **Alta complexidade computacional**
- **Tempo de resposta elevado**

# NÍVEIS DE COMPETÊNCIA

- **NÍVEL EXECUTIVO**

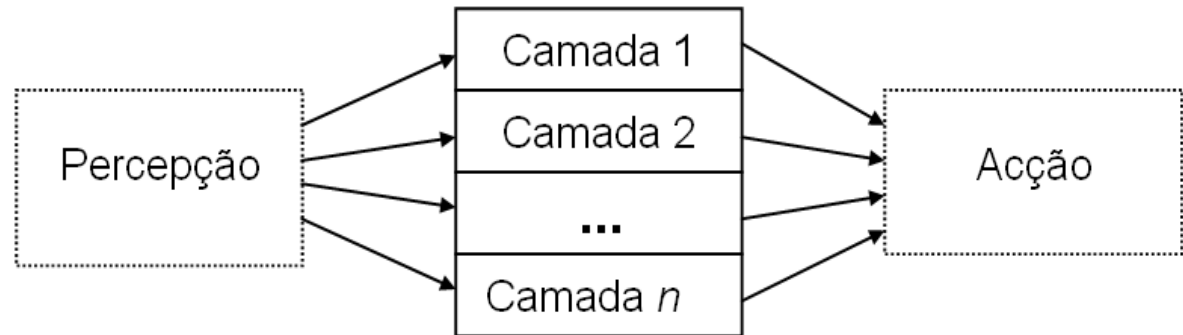
- Segue directivas do nível táctico
- **Processamento reactivo**
  - Reacções
    - Reflexos
    - Taxias
      - » Comportamento guiado por campos de potencial
  - Valorização reactiva
- **Baixa complexidade computacional**
- **Tempo de resposta baixo**
  - Operação em tempo-real



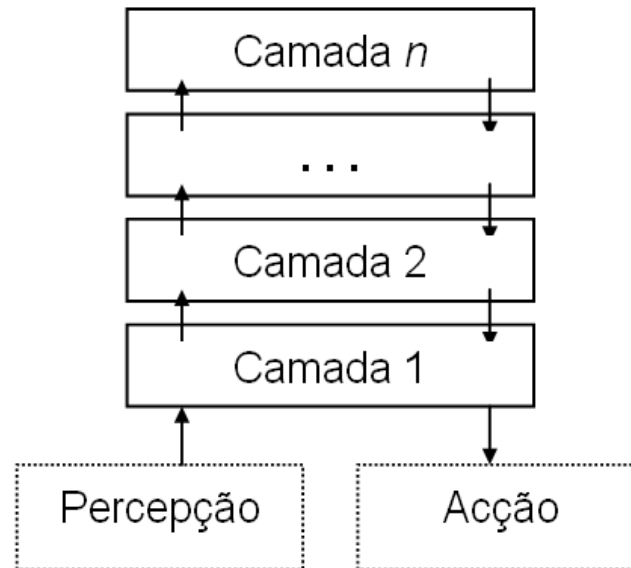
# ARQUITECTURA HÍBRIDA

## INTEGRAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE COMPETÊNCIA

**ORGANIZAÇÃO  
HORIZONTAL**



**ORGANIZAÇÃO  
VERTICAL**

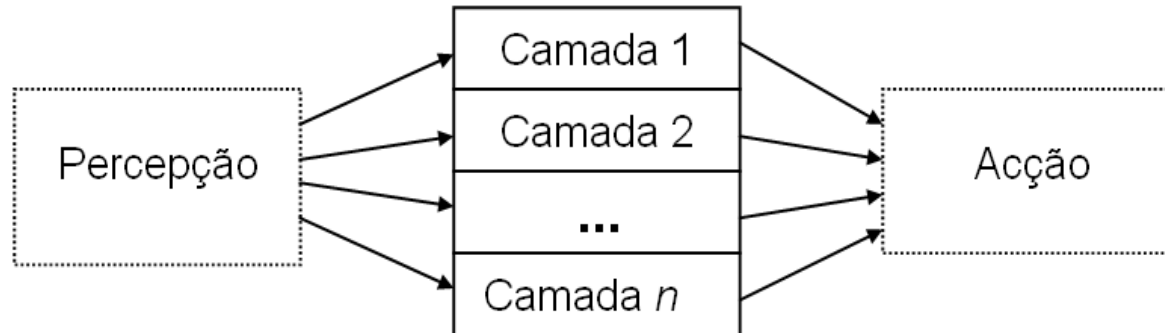


# ARQUITECTURA HÍBRIDA

## INTEGRAÇÃO ENTRE NÍVEIS

### ORGANIZAÇÃO HORIZONTAL

- Várias camadas interagem com o ambiente



- **Problemas:**
  - Múltiplas interacções entre níveis
  - Necessário controlo de coordenação

# ARQUITECTURA *TouringMachines*

- 3 camadas geradoras de comportamento

- **Camada reactiva**

- Comportamento reactivo
    - Resposta imediata às mudanças no ambiente
    - Regras estímulo-resposta

- **Camada de planeamento**

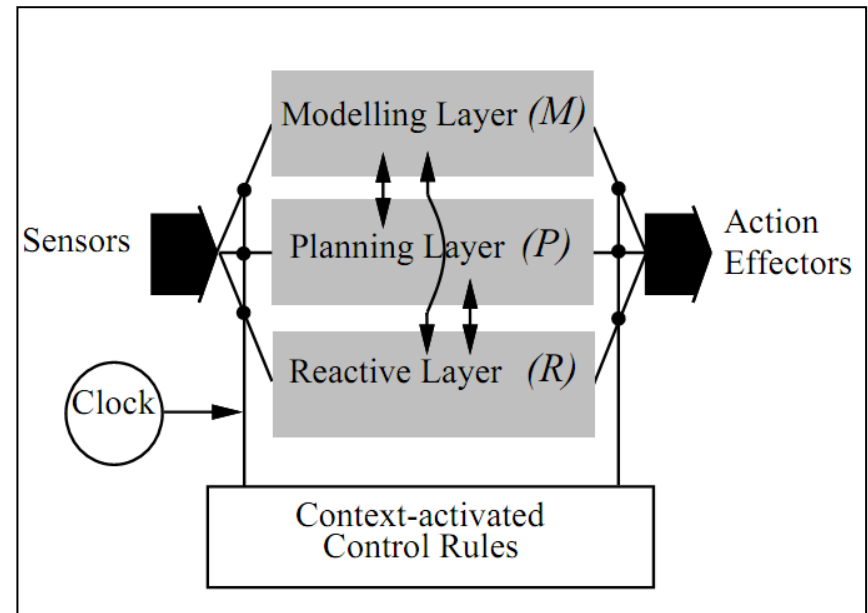
- Comportamento pró-activo
    - Utiliza uma biblioteca de planos genéricos (esquemas)

- **Camada de modelação**

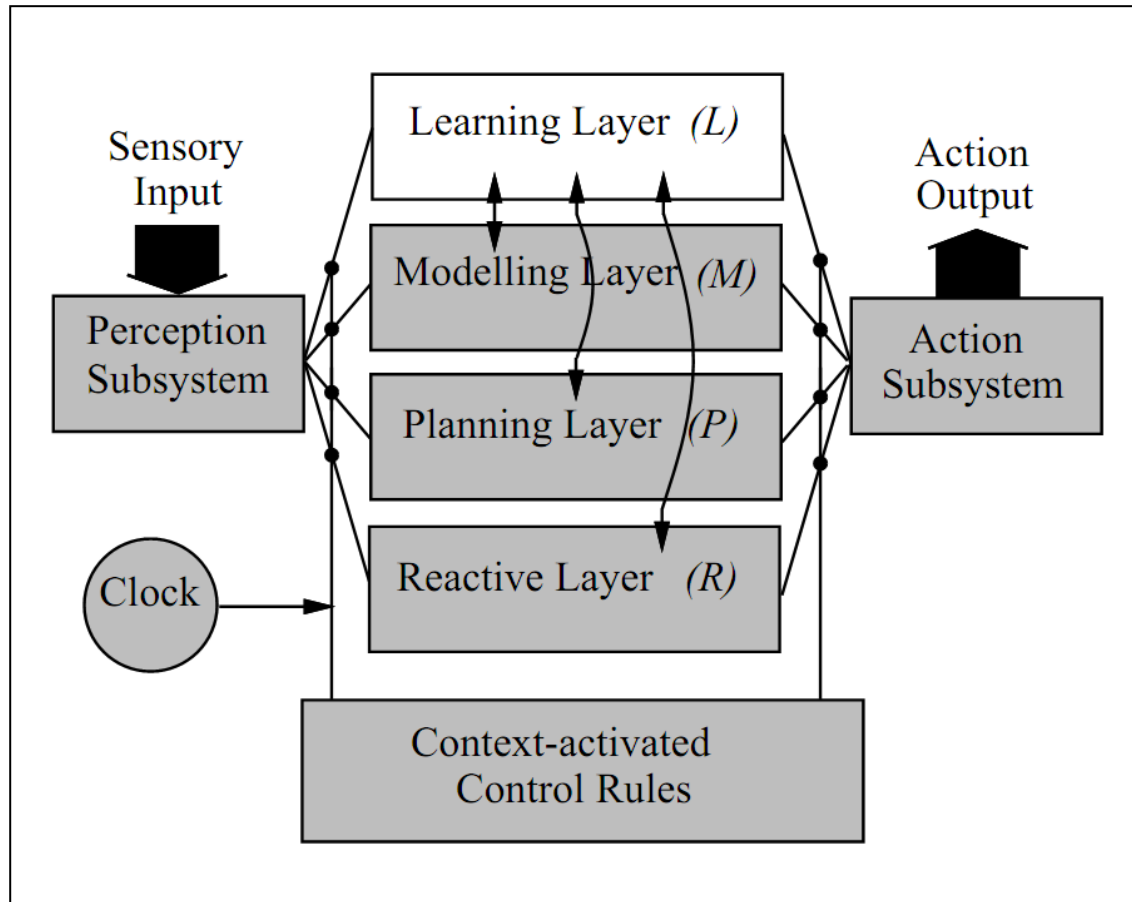
- Representa as diversas entidades do mundo
    - Prevê conflitos e gera objectivos para resolver esses conflitos

- **Subsistema de controlo**

- Conjunto de regras que determinam qual das camadas deve ter controlo sobre o agente



# ARQUITECTURA *TouringMachines*



**Exemplo de extensão da arquitectura: problemas?**

# ARQUITECTURA *TouringMachines*

- **Vantagens**

- Simplicidade conceptual
- Modularidade

- **Desvantagens**

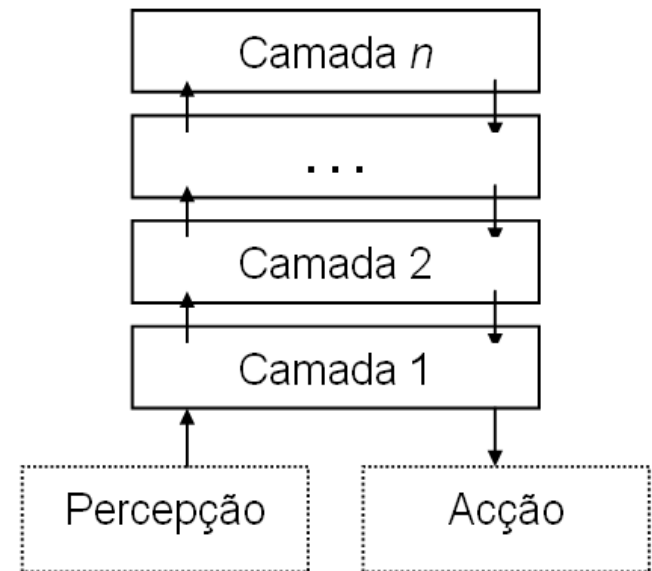
- Competição entre camadas
  - Dificuldade em garantir comportamento coerente
- Controlo de coordenação
  - Decide qual a camada que tem o controlo em cada instante
  - Controlo centralizado tem problemas
    - Na concepção do agente é necessário considerar todas as possíveis interacções entre camadas
- Dificuldade de extensão
  - Devido à interdependência entre camadas

# ARQUITECTURA HÍBRIDA

## INTEGRAÇÃO ENTRE NÍVEIS

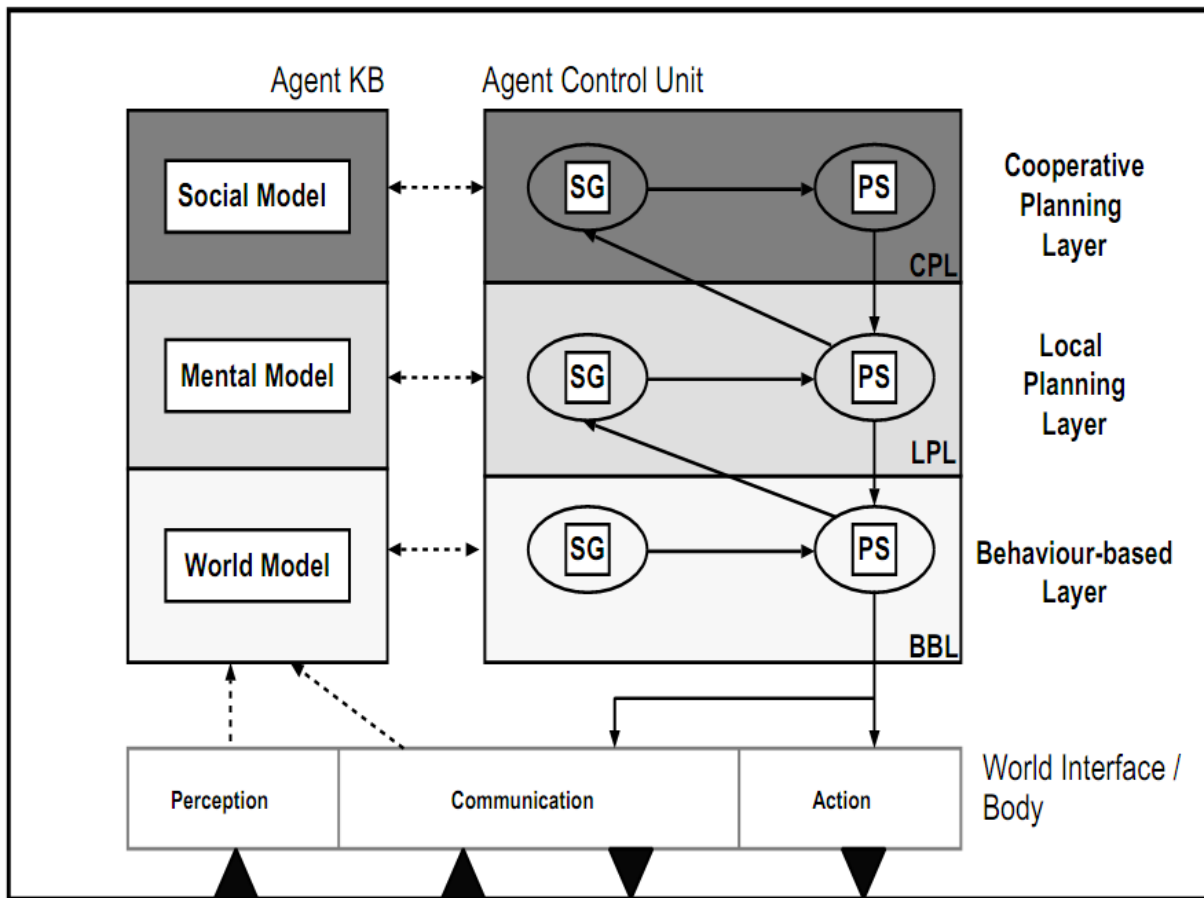
### ORGANIZAÇÃO VERTICAL

- Apenas uma camada interage com o ambiente
- **Problemas:**
  - Integração entre níveis
  - Tolerância a falhas devido a interdependência entre níveis





# ARQUITECTURA *INTERRAP*



## 3 Níveis de controlo

### Fluxo de controlo

- **Ascendente**

- Activação de pedidos
- Se um nível não é competente o controlo é transferido para o nível superior

- **Descendente**

- Definição de objectivos a concretizar
- Utilização de capacidades de um nível inferior para concretização de objectivos

BBL – Behaviour Based Layer  
LPL – Local Planning Layer  
CPL – Cooperative Planning Layer

KB – Knowledge Base  
SG – Situation recognition and Goal activation function  
PS – Planning and Scheduling function

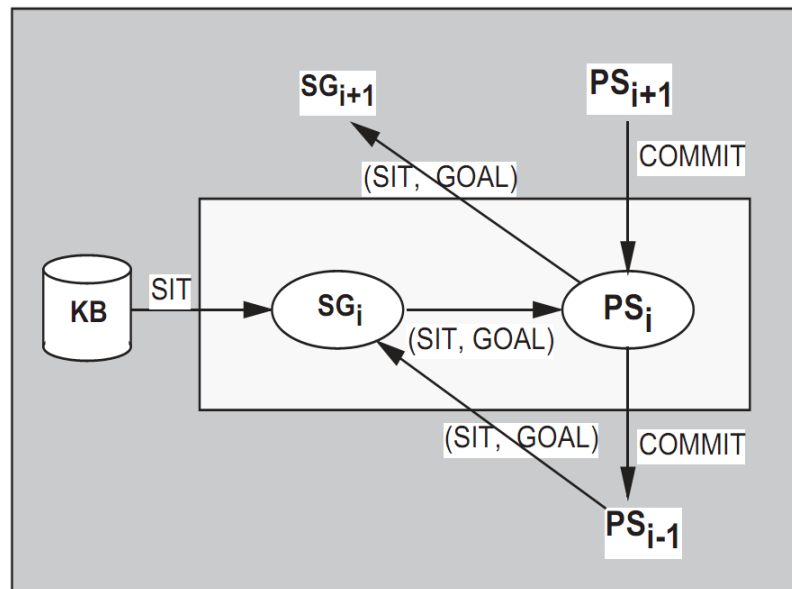
# ARQUITECTURA *INTERRAP*

- **Camada comportamental (BBL)**
  - Regras *situação - acção*
  - Acções adequadas a situações com restrições temporais críticas
  - Comportamentos podem ser activados quer pela camada comportamental (BBL), quer pela camada de planeamento (LPL)
  - Processamento rápido dos comportamentos
- **Camada de planeamento local (LPL)**
  - Comportamento orientado por objectivos
  - Planeamento
    - Geração de planos para concretização de objectivos
  - Escalonamento
    - Sequenciação de acções para execução
- **Camada planeamento cooperativo (CPL)**
  - Planeamento e cooperação com outros agentes
  - Agentes têm estratégias de negociação autónomas

# ARQUITECTURA *INTERRAP*

## ESCALONAMIENTO DE OBJETIVOS

1. If layer  $i$  is competent for  $(S, G)$ , continue with step 2; otherwise send an upward activation request  $\text{request}(\text{do}(S, G))$  to  $SG_{i+1}$ ; RETURN
2. Add  $G$  to the set  $\mathcal{G}_i$ .
3. Select an element  $G' \in \mathcal{G}_i$  for being pursued next and devise a partial plan  $P'$  for achieving  $G'$  given the current intention structure  $\mathcal{I}_i$ .
4. Compute the modified intention structure  $\mathcal{I}'_i$  and thus, the next commitment.



KB – Knowledge Base  
SG – Situation recognition and Goal activation function  
PS – Planning and Scheduling function

# ARQUITECTURA *INTERRAP*

- **Vantagens**

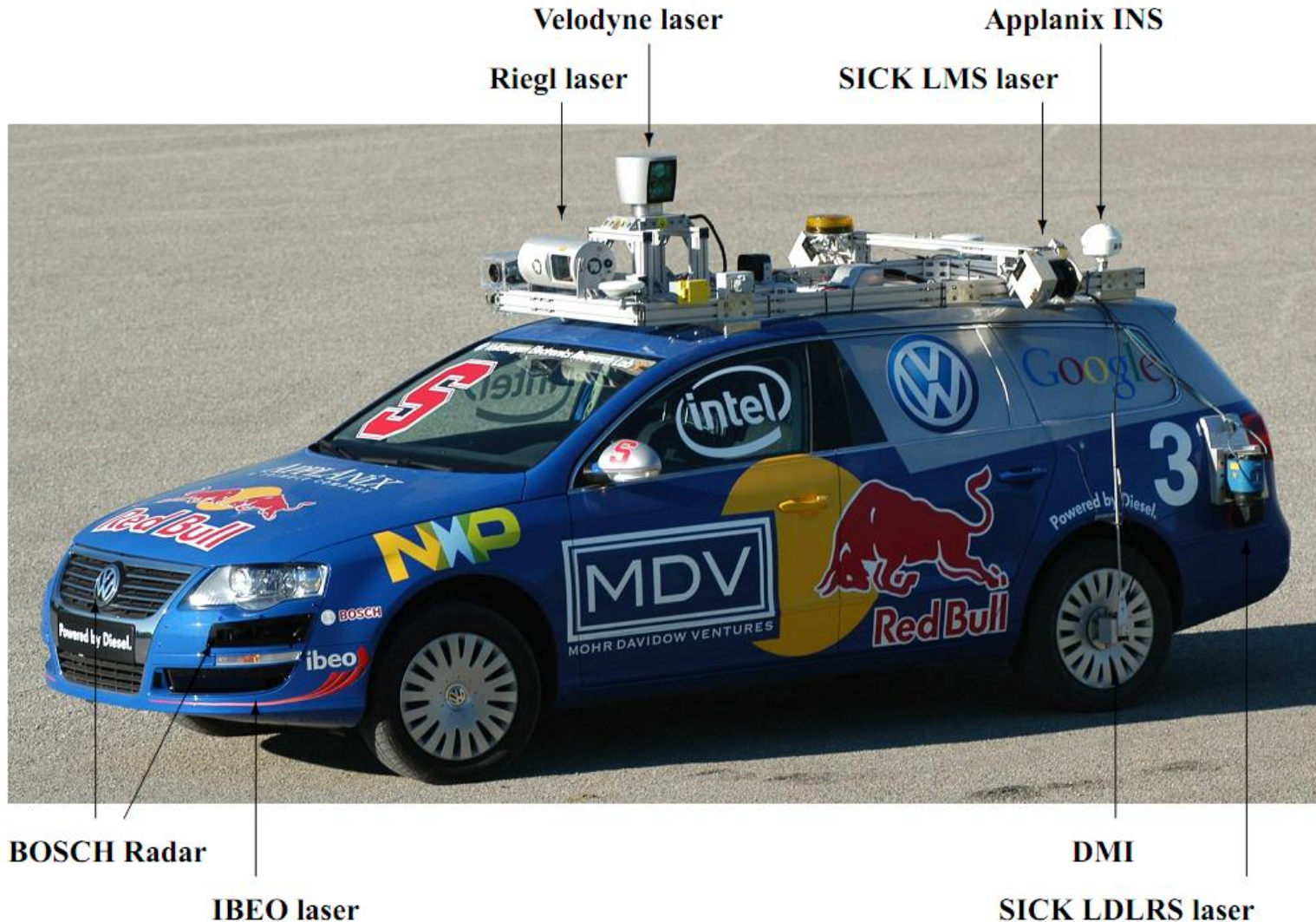
- Complexidade de interacção entre camadas é reduzida
- Modularidade
- Maior facilidade de extensão

- **Desvantagens**

- Redução de flexibilidade
  - Transferência de controlo ocorre apenas entre camadas
- Menor tolerância a falhas
  - Falhas em qualquer das camadas pode comprometer o comportamento global do agente

# VEÍCULOS AUTÓNOMOS

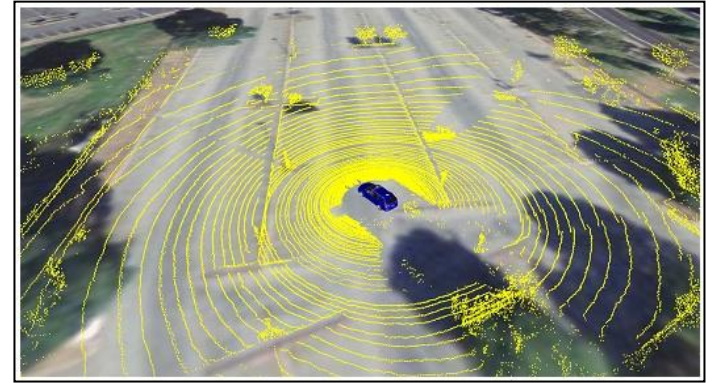
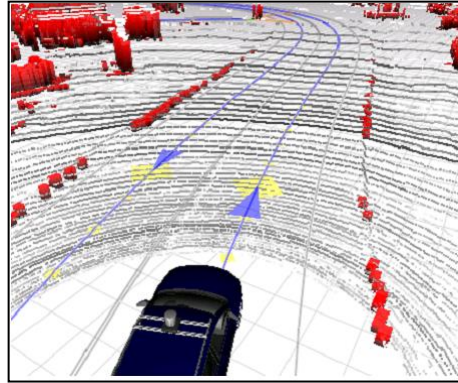
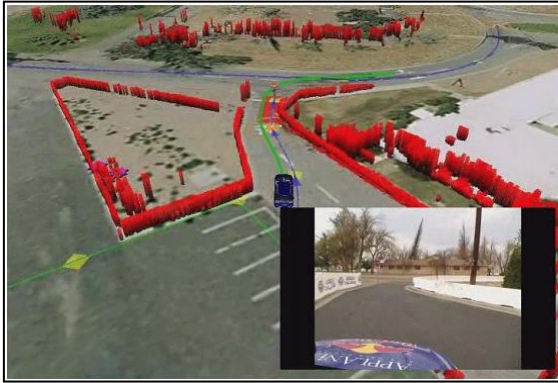
## DARPA URBAN CHALLENGE – STANFORD JUNIOR VEHICLE





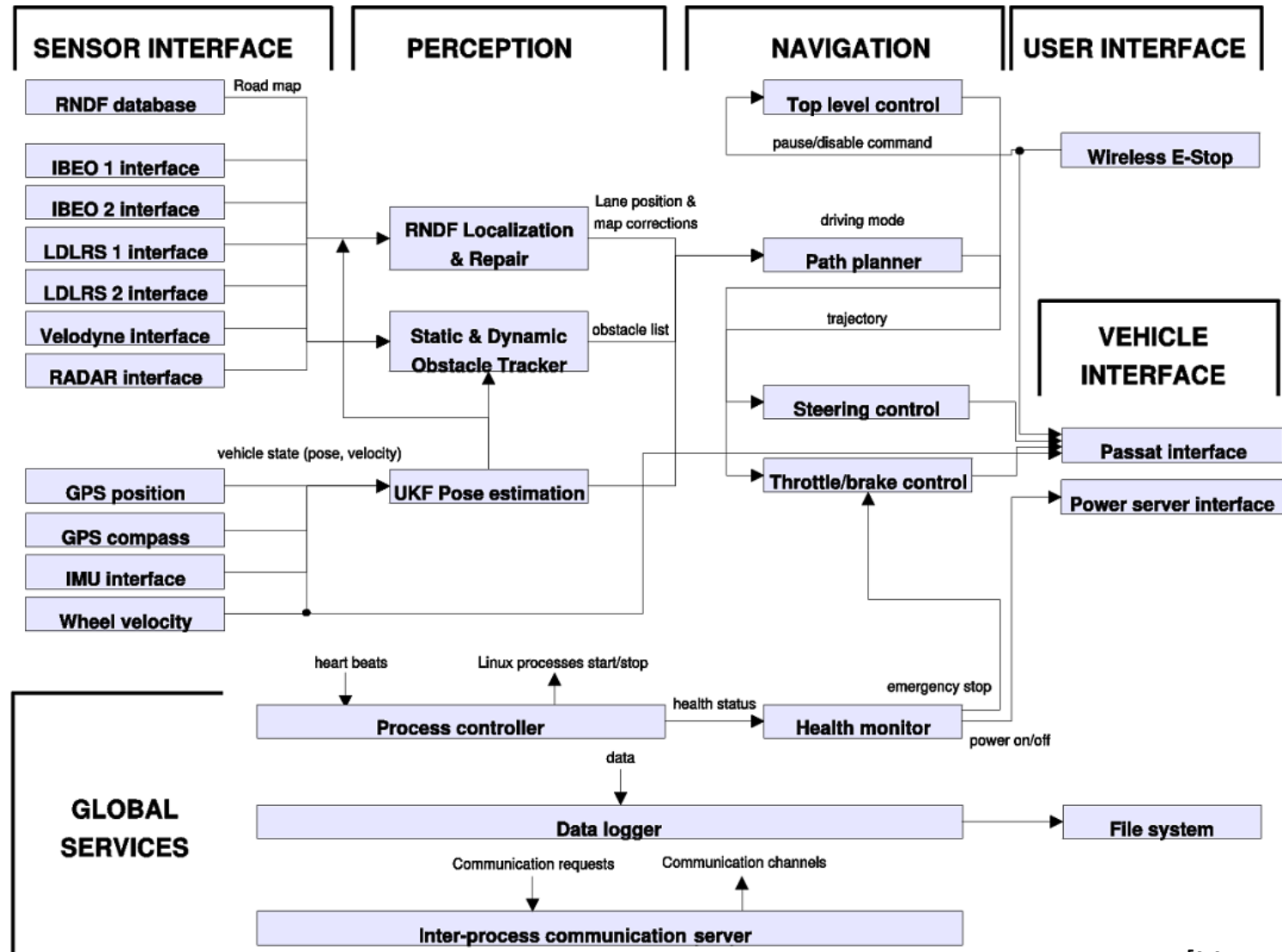
# VEÍCULOS AUTÓNOMOS

## PROCESSAMENTO SENSORIAL E PLANEAMENTO AUTOMÁTICO



# VEÍCULOS AUTÓNOMOS

## DARPA URBAN CHALLENGE – STANFORD JUNIOR VEHICLE



# ARQUITECTURA DE AGENTES INTELIGENTES

- **SUBSISTEMA REACTIVO**

- Respostas, internas ou externas, **acontecem sempre que o respectivo conjunto de pré-condições seja satisfeito** (desde que não exista inibição da resposta por outro mecanismo)
- Este principio de **activação automática é independente da forma como o sistema é implementado** (rede neuronal, conjunto de regras condição-acção ou simplesmente um conjunto de ligações num circuito)
- O que fazer quando o **conjunto condições-acções inicial é sujeito a novas situações** para as quais não possui respostas satisfatórias ?



# ARQUITECTURA DE AGENTES INTELIGENTES

- **SUBSISTEMA DELIBERATIVO**

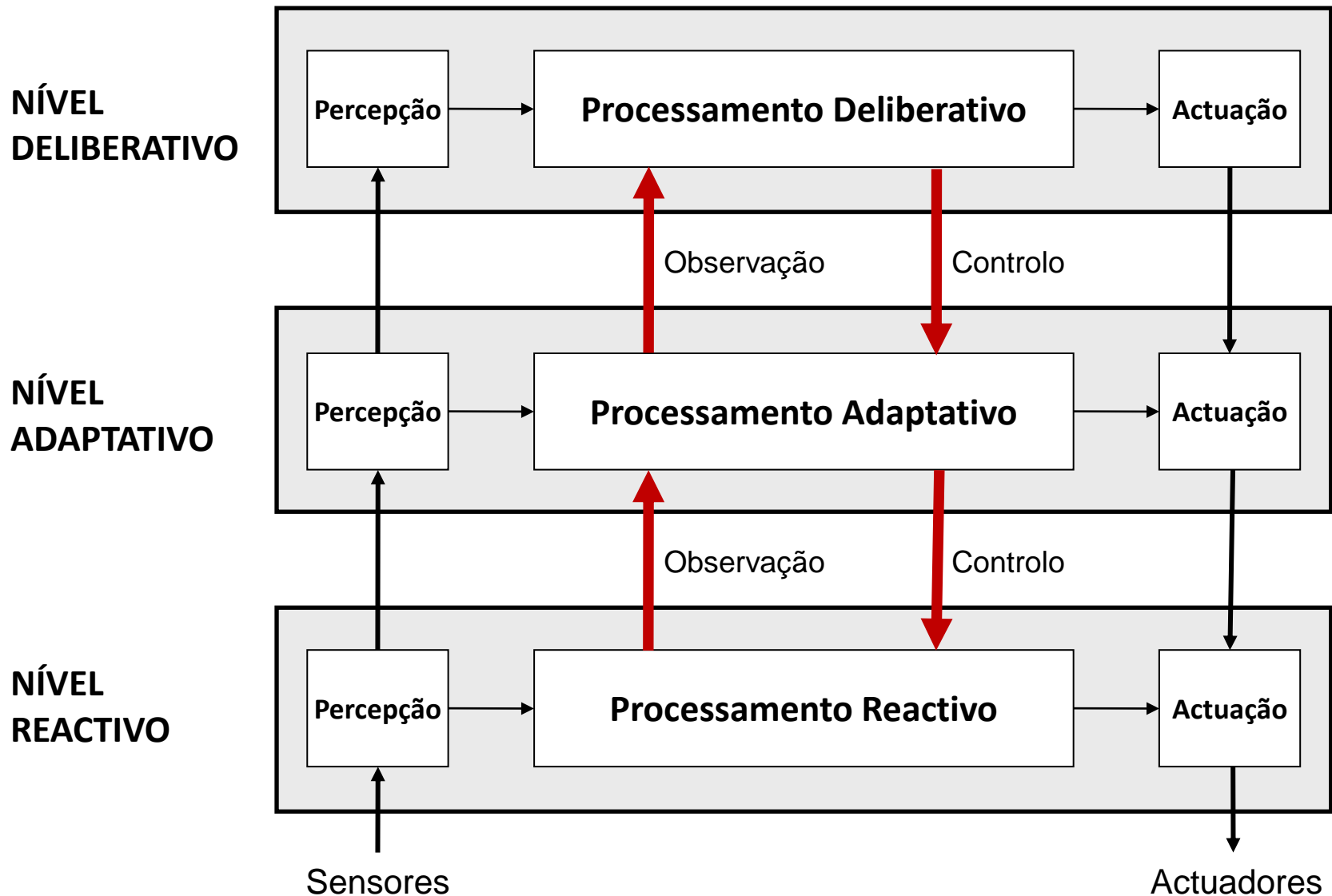
- Capaz de gerar **novas combinações de acções para actuar perante novos contextos**
- Em geral **o espaço de novas opções tem complexidade combinatória** - não é possível a utilização do ambiente para a experimentação
- A **procura de soluções é feita através de simulação interna** com base num **modelo interno** (representação do mundo)
- Tal como o subsistema reactivo, o subsistema deliberativo **pode apresentar alguma limitação na resposta a novos contextos**, nomeadamente na **gestão e utilização dos recursos cognitivos** (e.g. memória, processamento)

# ARQUITECTURA DE AGENTES INTELIGENTES

- **SUBSISTEMA ADAPTATIVO**

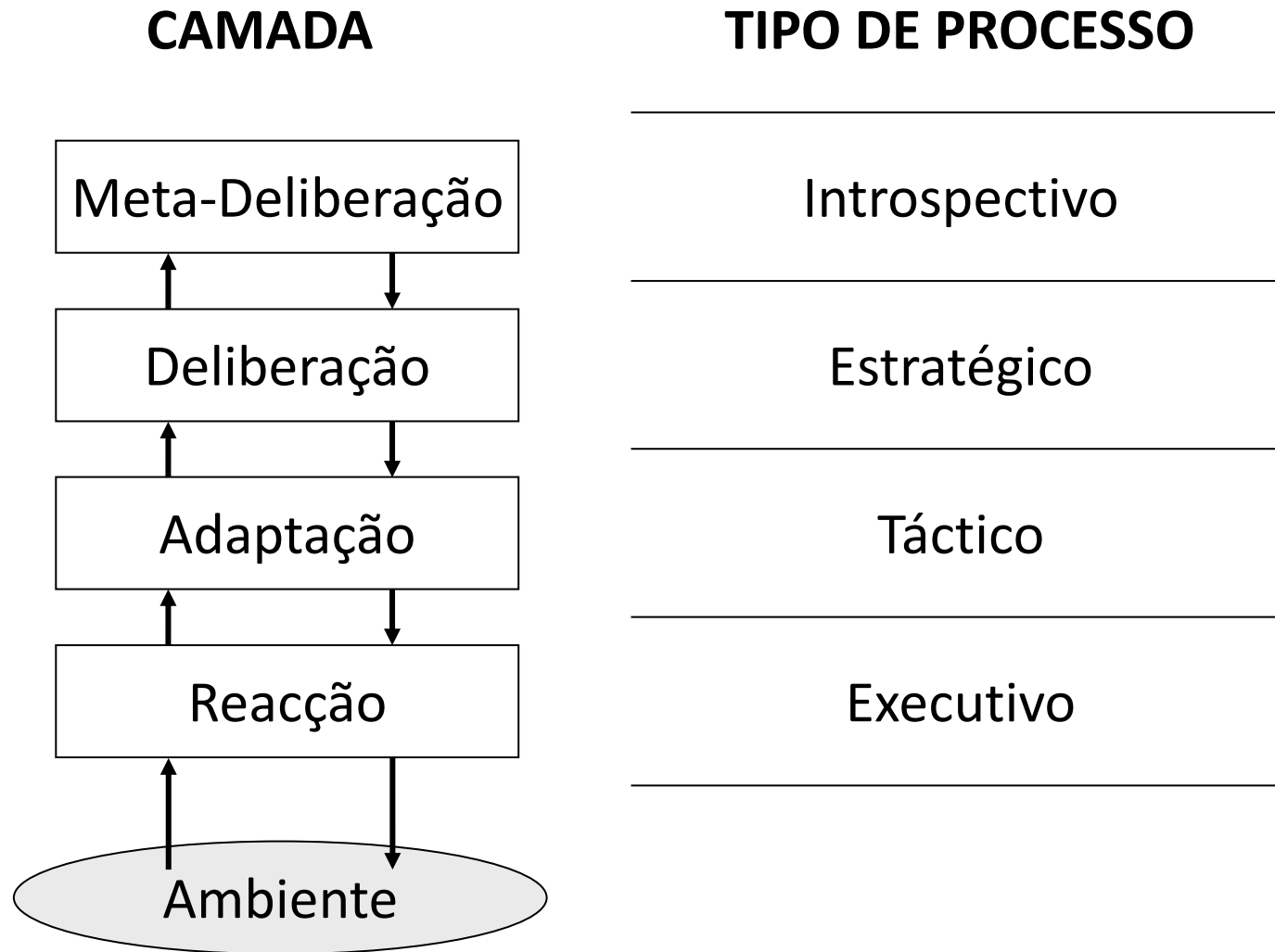
- Não deve ser assumido que um agente inteligente tenha uma **arquitetura fixa**
- Os processos internos podem incluir **aprendizagem e desenvolvimento de novas capacidades** que podem levar a **mudanças na arquitetura**
- Importante a **capacidade de adaptação a novas circunstâncias**
  - Adaptação operacional
    - E. g. Aprendizagem por reforço
  - Adaptação estrutural (evolução)
    - E. g. Algoritmos genéticos

# ARQUITECTURA COGNITIVA HÍBRIDA



# ARQUITECTURA COGNITIVA

## HIERARQUIA DE NÍVEIS DE PROCESSAMENTO



# ARQUITECTURA COGNITIVA

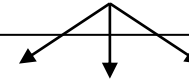
## HIERARQUIA DE OBJECTIVOS A MÚLTIPLOS NÍVEIS DE PROCESSAMENTO

### TIPO DE PROCESSO

### TIPO DE OBJECTIVO

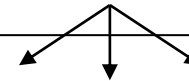
Introspectivo

Objectivos  
criativos



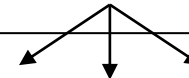
Estratégico

Objectivos  
de optimização



Táctico

Objectivos  
de concretização



Executivo

Necessidades  
imediatas

# ARQUITECTURA COGNITIVA

- **SUBSISTEMA META-DELIBERAÇÃO**

- Realiza a **monitorização e controlo dos subsistemas deliberativo, adaptativo e reactivo**
- Ao operar a um nível mais elevado, este subsistema é **capaz de manter uma panorâmica dos processos, problemas e decisões** analisados pelo mecanismo deliberativo e das respostas adaptativas e reactivas
- **Realiza uma análise mais geral e de médio longo prazo em relação aos objectivos do agente**, alguns dos quais podem ser **pré-determinados** ou gerados a partir de um contexto de **interacção social** (e.g. adopção de objectivos)

# ARQUITECTURA HÍBRIDA

- **INTEGRAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE PROCESSAMENTO**
  - Informação sensorial integrada a diferentes níveis de representação interna
  - Controlo hierárquico
    - Motivação
    - Comandos
    - Foco de atenção
- **MODOS COMPORTAMENTAIS**
  - **INTENCIONAL**
    - Nível deliberativo determina comportamento
    - Regulação do foco de atenção
  - **AUTOMÁTICO**
    - Iniciado independentemente do controlo deliberativo
    - Resulta da activação de diferentes esquemas comportamentais
    - Pode alterar o foco de atenção

# ARQUITECTURA HÍBRIDA

- **Vantagens**

- Comportamentos óptimos ou sub-óptimos
- Possibilidade de processamento assíncrono
  - Camadas podem operar de forma independente
- Modularidade
- Reactividade
  - Resposta rápida a estímulos do ambiente
  - Operação em tempo-real

- **Desvantagens**

- Problema da integração entre camadas
- Complexidade estrutural



# REFERÊNCIAS

[Wooldridge, 2002]

M. Wooldridge, *An Introduction to Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons, 2002

[Murphy, 2000]

R. Murphy, *An Introduction to AI Robotics*, MIT Press, 2000

[Albus *et al.*, 2002]

J. Albus *et al.*, *4D/RCS: A Reference Model Architecture For Unmanned Vehicle Systems*, National Institute of Standards and Technology, 2002

[Ferguson, 1992]

I. Ferguson, *TouringMachines: Autonomous Agents with Attitudes*, Technical Report 250, University of Cambridge, 1992

[Fischer *et al.*, 1994]

K. Fischer, J. Muller, M. Pischel, *Unifying Control in a Layered Agent Architecture*, German Research Center for Artificial Intelligence, 1994

[Montemerlo, 2008]

M. Montemerlo *et al.*, *Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge*, Stanford Artificial Intelligence Lab, 2008