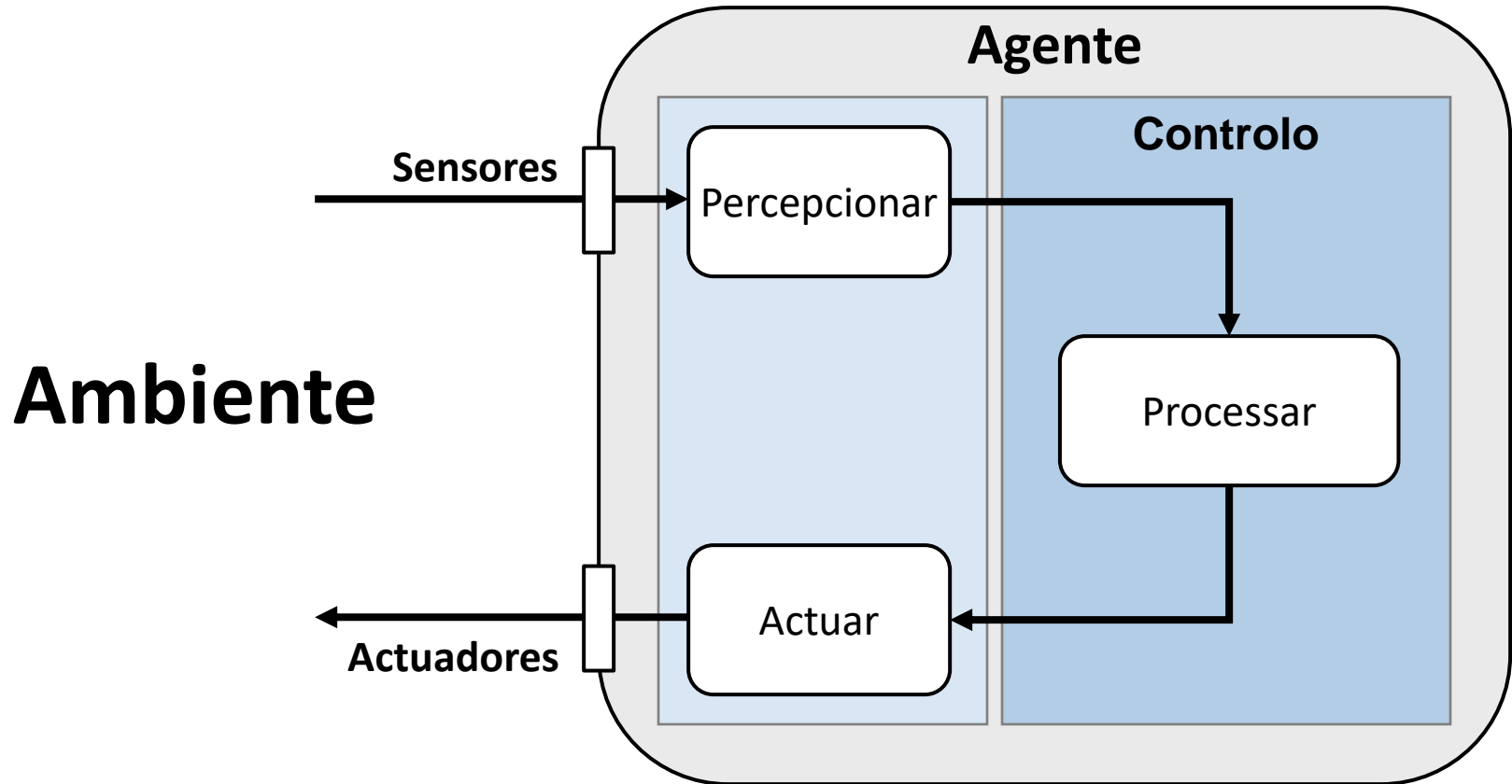


# **ARQUITECTURAS COGNITIVAS**

Luís Morgado

ISEL-ADEETC

# SISTEMA AUTÓNOMO INTELIGENTE



# AGENTE INTELIGENTE



**AUTONOMIA**

**REACTIVIDADE**

**PRÓ-ACTIVIDADE**

**SOCIABILIDADE**

**FINALIDADE**

# ARQUITECTURAS DE AGENTE

Três tipos base de arquiteturas

- **REACTIVAS (COMPORTAMENTAIS)**

- Ênfase no **acoplamento com o ambiente**

- **DELIBERATIVAS (COGNITIVAS)**

- Ênfase nas **representações internas** do *mundo*

- **HÍBRIDAS**

- Integração de abordagens **reactivas e deliberativas**

# ARQUITECTURAS DE AGENTE

FINALIDADE

Objectivos implícitos

## MODELO REACTIVO

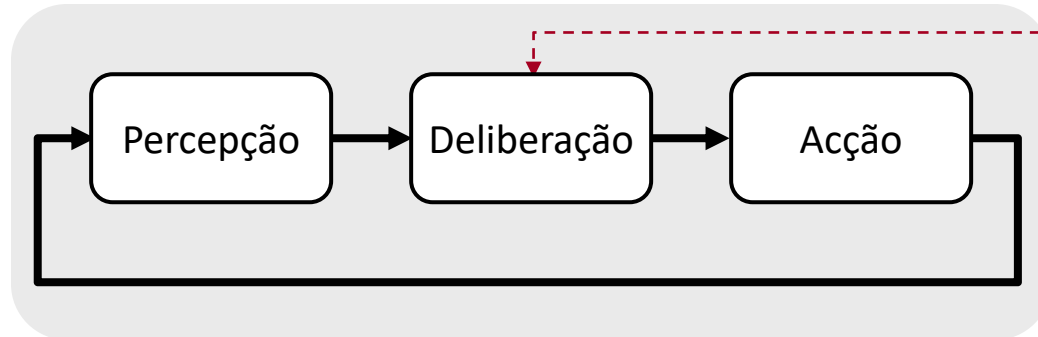
Paradigma Comportamental



Objectivos explícitos

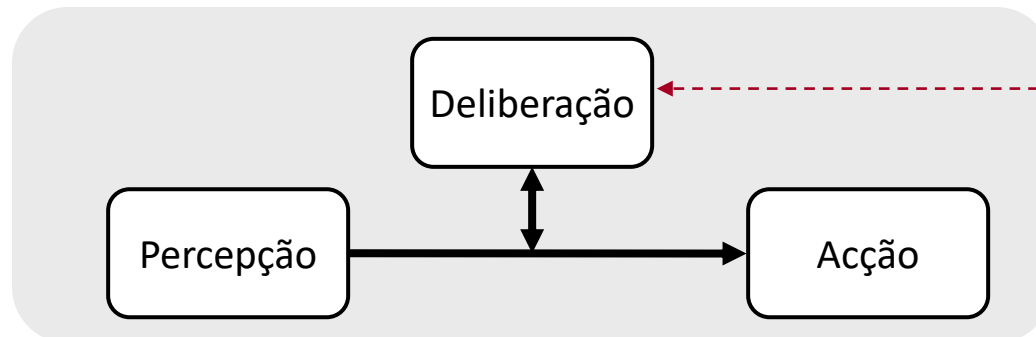
## MODELO DELIBERATIVO

Paradigma Cognitivo



Objectivos explícitos

## MODELO HÍBRIDO



# ARQUITECTURAS COGNITIVAS

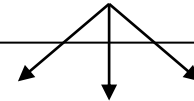
## INTEGRAÇÃO DE NÍVEIS COGNITIVOS

**NÍVEL COGNITIVO**      **TIPO DE PROCESSO**      **TIPO DE OBJECTIVO**

**DELIBERATIVO**

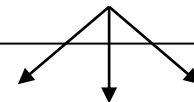
**Estratégico**

**Objectivos  
de optimização**



**Tático**

**Objectivos  
de concretização**



**ADAPTATIVO**

**Executivo**

**Necessidades  
imediatas**

**REACTIVO**

# TEMPO E COMPORTAMENTO

## PRESENTE

Sistemas reactivos sem estado

**Reagir**

## PASSADO – PRESENTE

Sistemas reactivos com estado (memória)

**Repetir / Evitar**

## PASSADO – PRESENTE – FUTURO

Sistemas deliberativos (simulação)

**Antecipar / Optimizar**

# TIPOS DE COMPORTAMENTO

## SEQUÊNCIAS DE ACTIVAÇÃO FIXA (*LOCK-STEP SEQUENCES*)

- Sequência não variável de acções

## REGRAS ESTÍMULO - RESPOSTA (SE - ENTÃO)

- Acções específicas mas variáveis de acordo com a percepção do ambiente

## TENTATIVA E ERRO

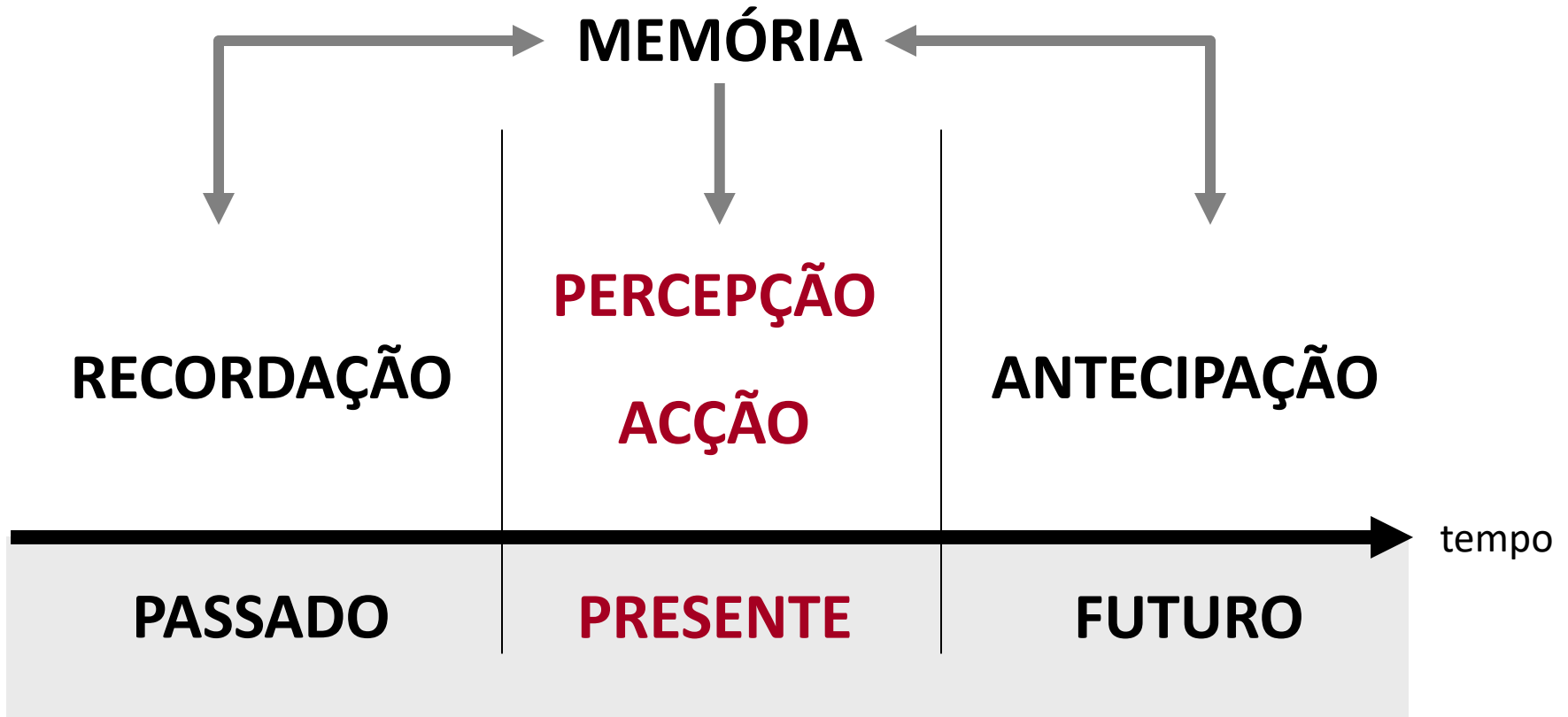
- Repetir o que teve sucesso, cessar o que não teve sucesso

## PLANEAMENTO

- Antecipação de consequências das acções
- Simulação interna de situações e acções
- Requer modelo interno



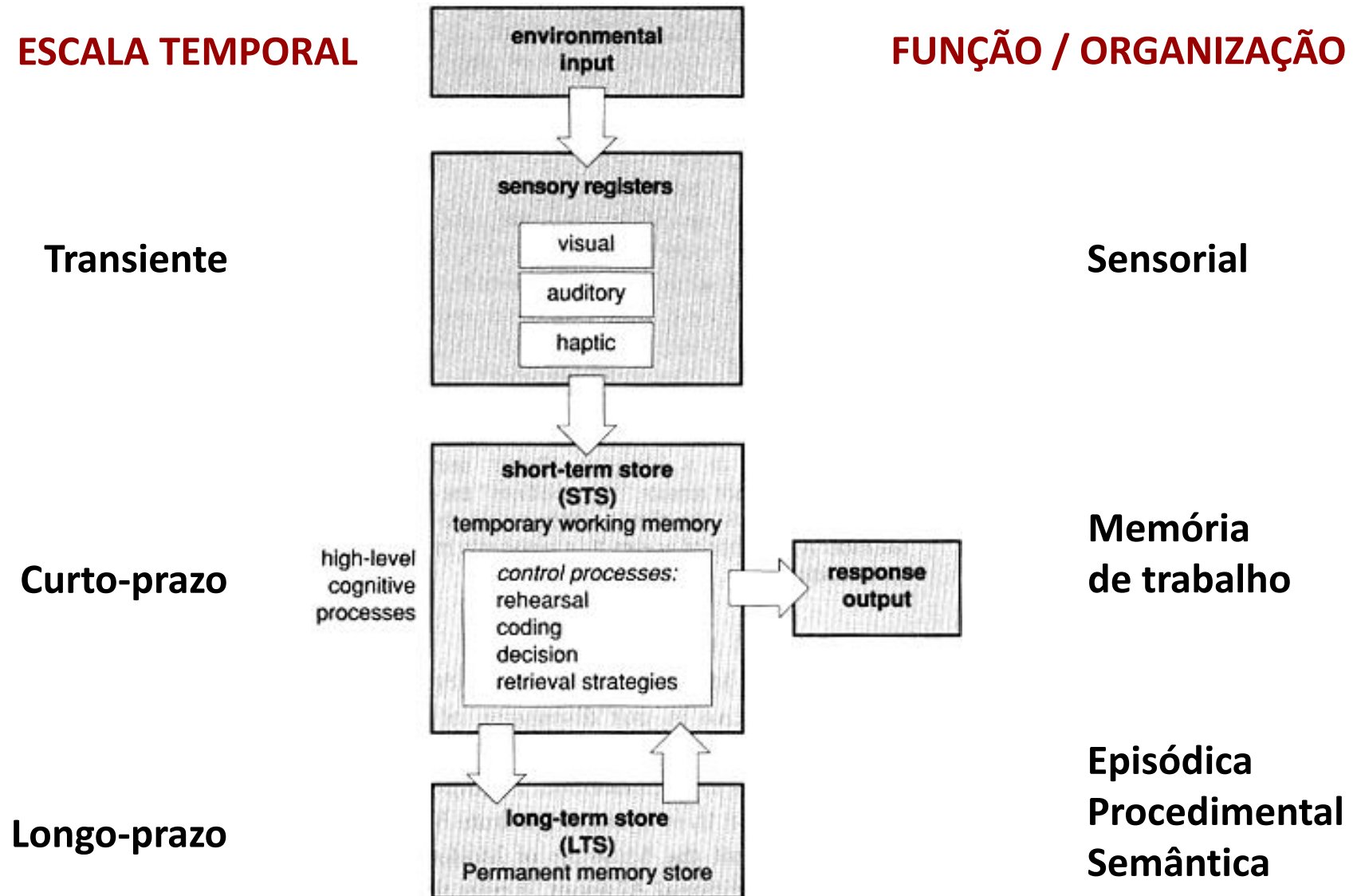
# MEMÓRIA E COMPORTAMENTO



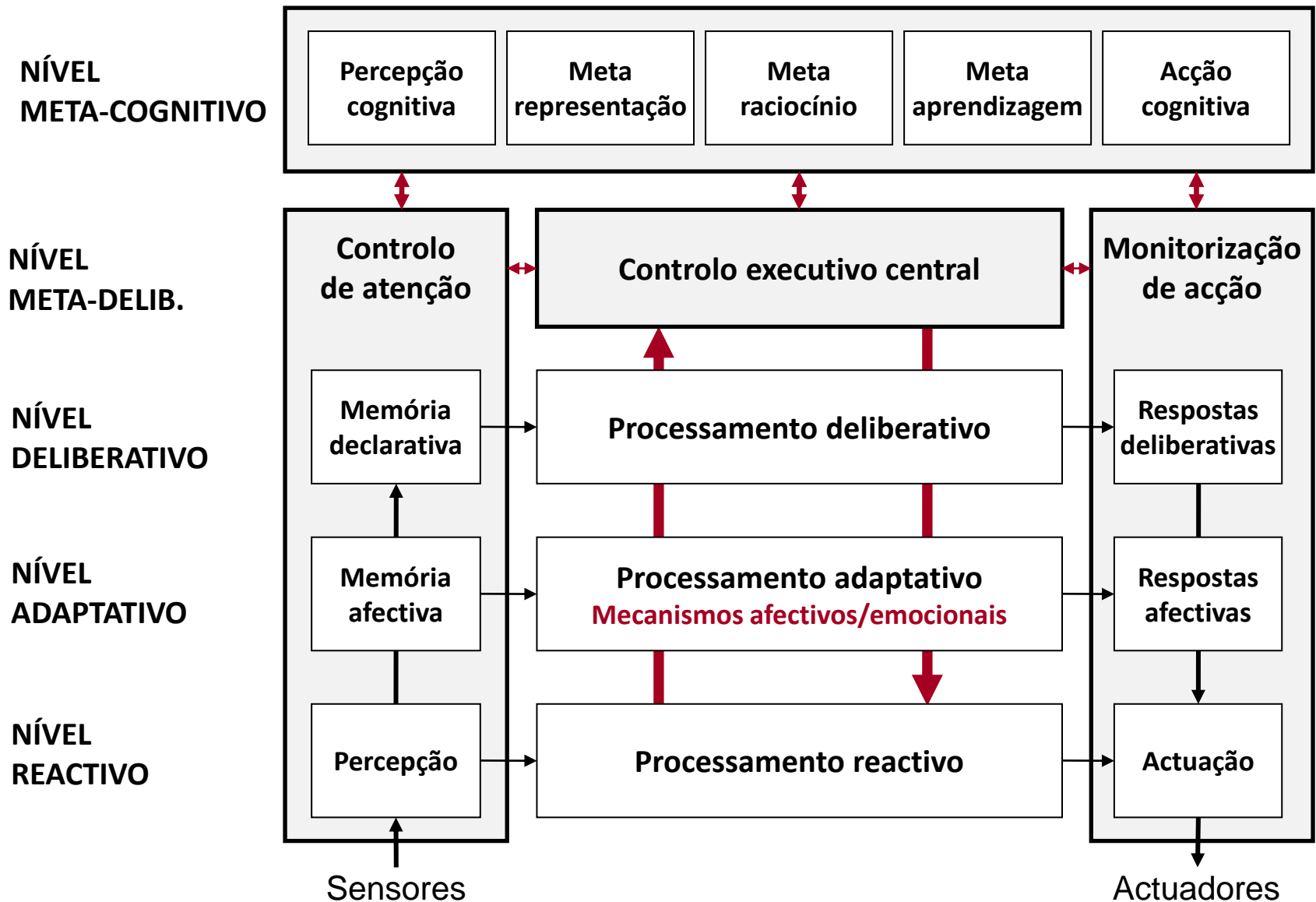
# MECANISMOS DE MEMÓRIA

ESCALA TEMPORAL

FUNÇÃO / ORGANIZAÇÃO

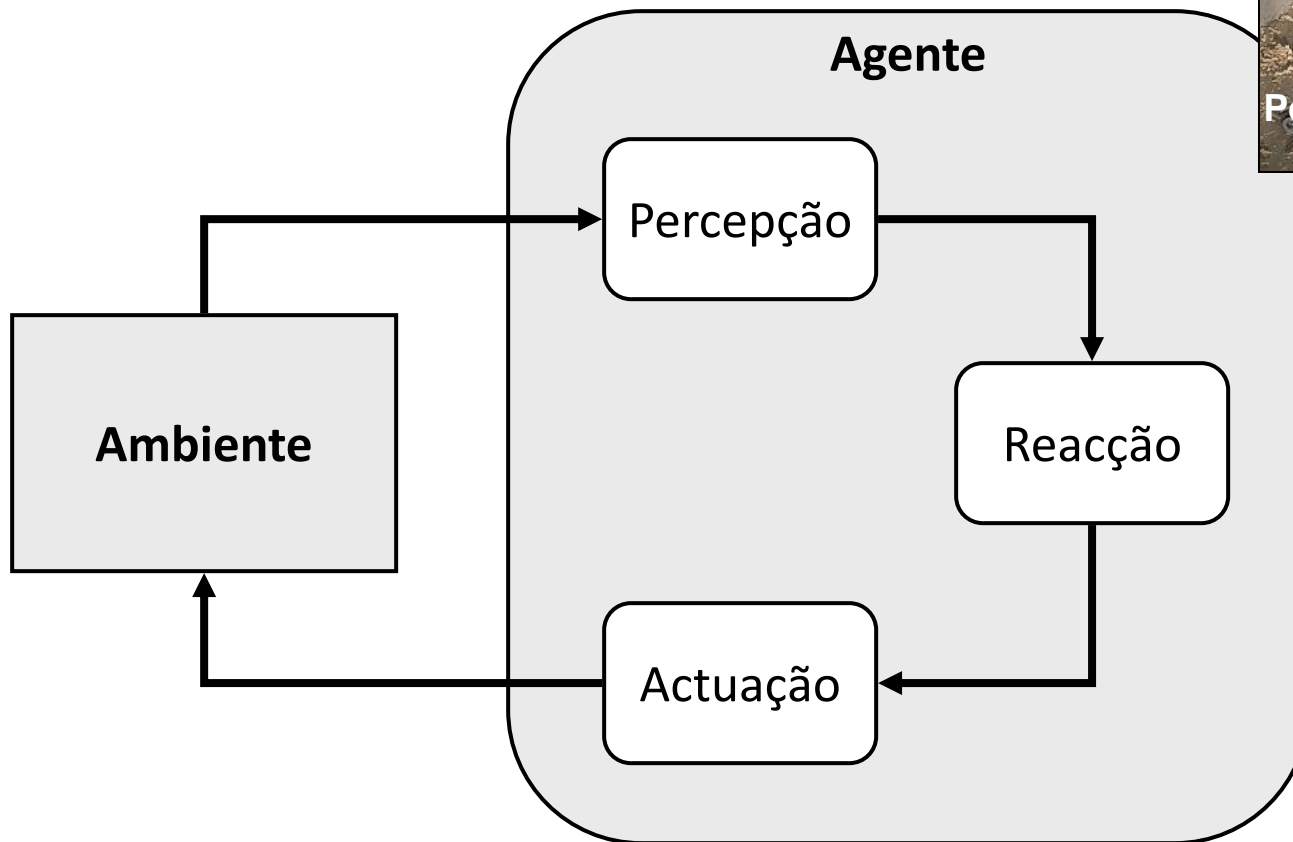


# ARQUITECTURAS COGNITIVAS



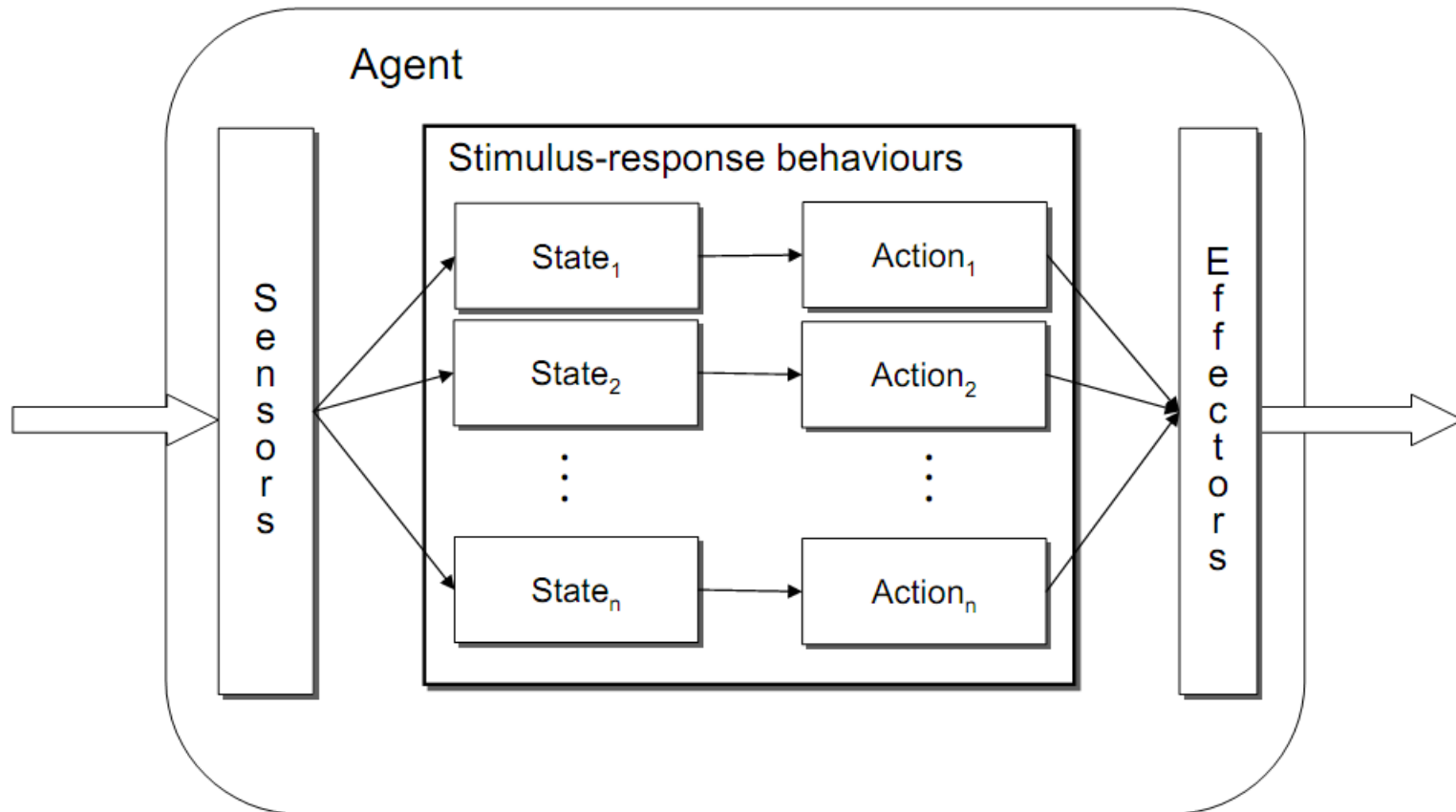
# NÍVEL REACTIVO

## ARQUITECTURA REACTIVA GERAL



# ARQUITECTURA REACTIVA

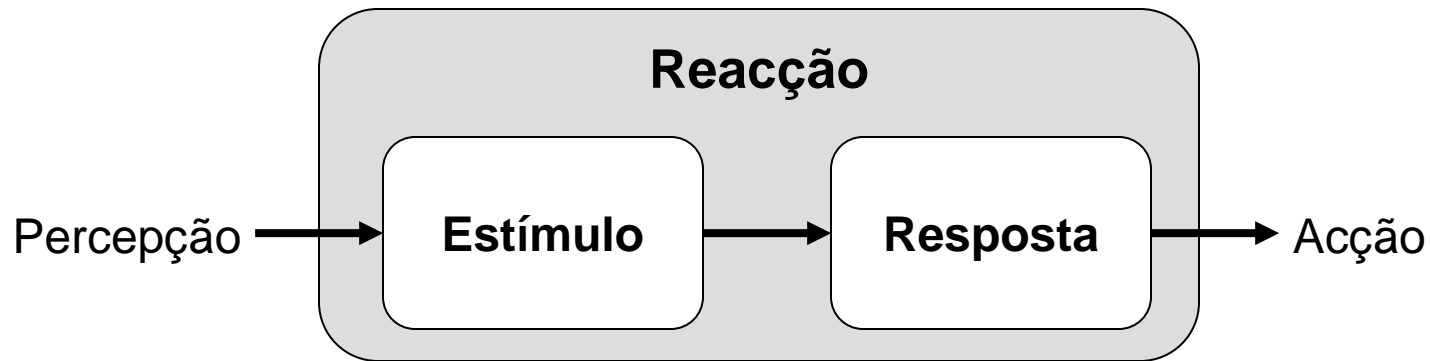
## NÍVEL SUB-SIMBÓLICO



# ARQUITECTURA DE AGENTES REACTIVOS

## REACÇÃO

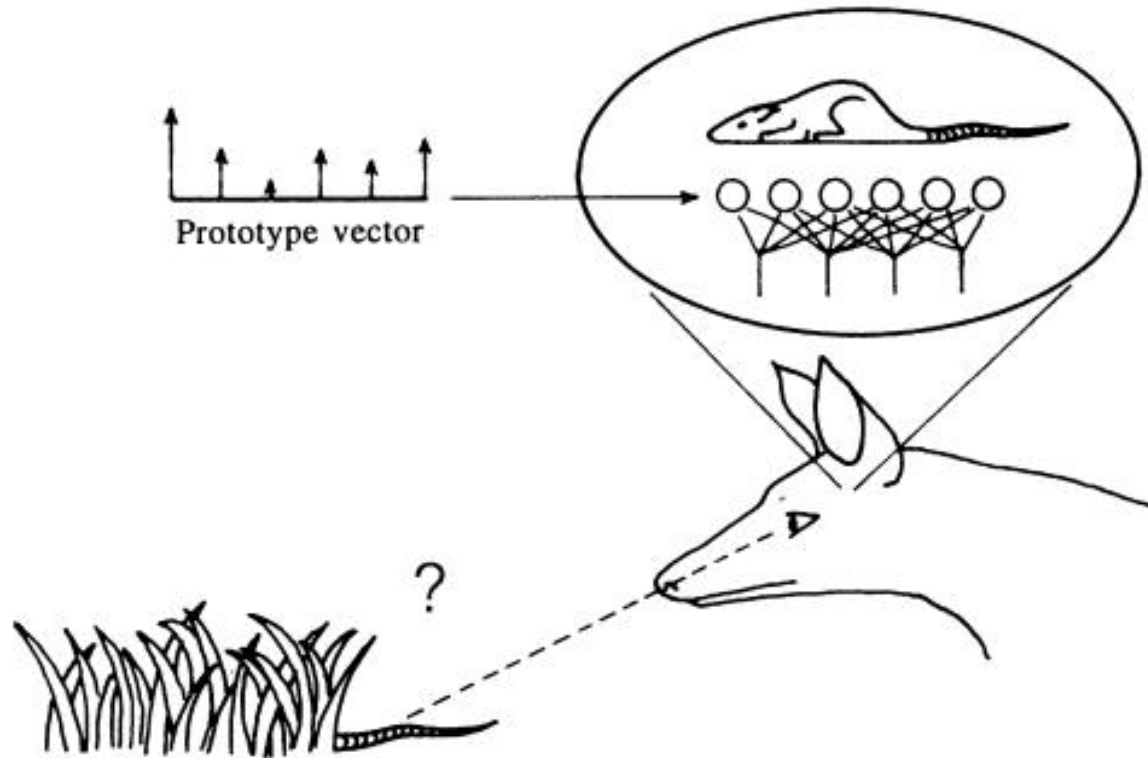
- REGRA ESTÍMULO - RESPOSTA



Numa arquitectura reactiva simples **não são mantidas representações internas** do estado do mundo, as acções são activadas **directamente em função das percepções**

# MECANISMOS DE REACÇÃO

## DETECÇÃO DE ESTÍMULOS POR RECONHECIMENTO DE PADRÕES



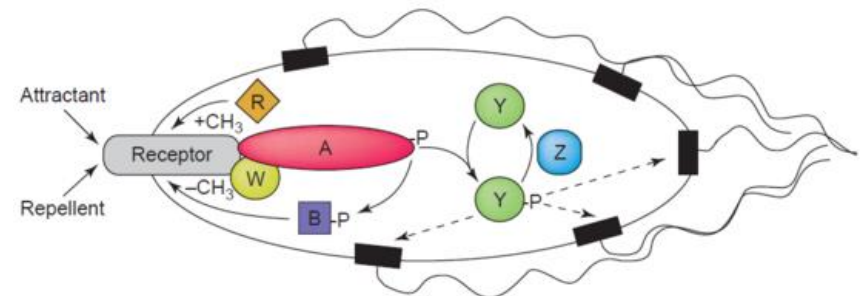
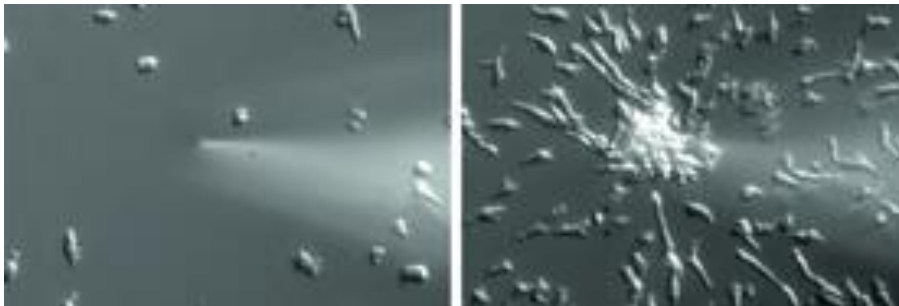
# TIPOS DE REACÇÃO

## REFLEXOS

- Respostas **descontínuas** a **estímulos não direccionais**

## TAXIAS

- Respostas **contínuas** a **estímulos direccionais**
- Exemplos:
  - Fototaxia
  - Quimiotaxia

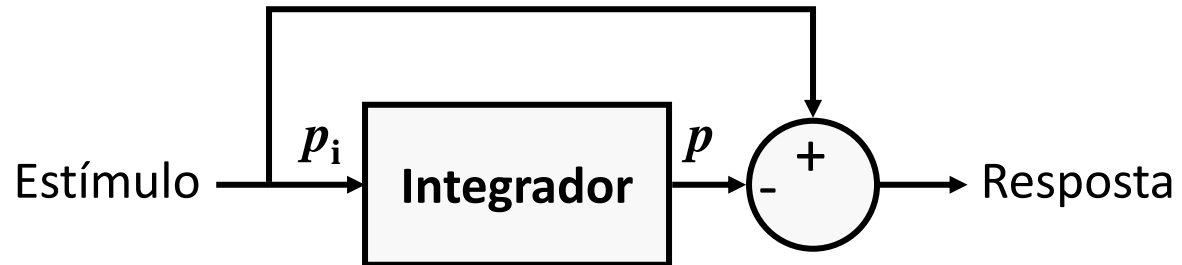
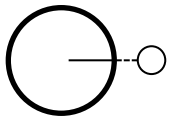




# MECANISMOS DE TAXIA

## TAXIA POR DIFERENÇA TEMPORAL

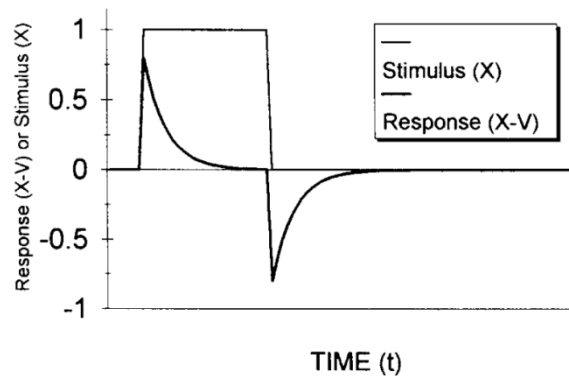
Configuração  
do agente



**MEMÓRIA**    **DIFERENCIADOR**



$$p(t + 1) = p(t) + \alpha[p_i(t) - p(t)]$$



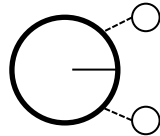
**Aproximar**

**Explorar**

# MECANISMOS DE TAXIA

## TAXIA POR DIFERENÇA ESPACIAL

Configuração  
do agente



```
// Decidir acção
```

```
 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\text{esq}} - \epsilon_{\text{dir}}$ 
```

```
IF  $\Delta\epsilon > 0$  THEN
```

```
{
```

```
    rodar_esq( $\Delta\epsilon$ )
```

```
}
```

```
ELSE IF  $\Delta\epsilon < 0$  THEN
```

```
{
```

```
    rodar_dir( $-\Delta\epsilon$ )
```

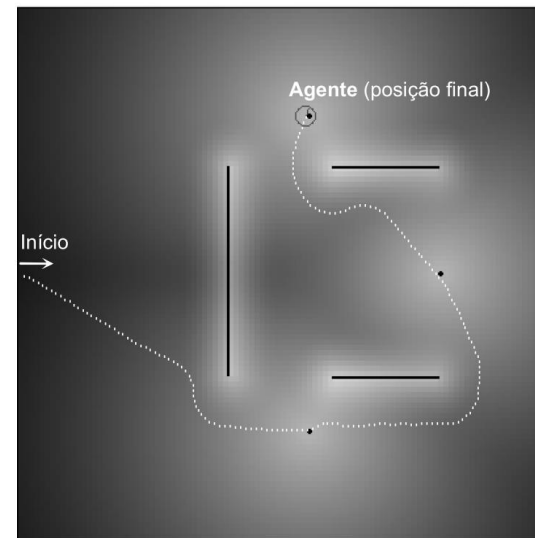
```
}
```

```
ELSE
```

```
{
```

```
    avançar()
```

```
}
```



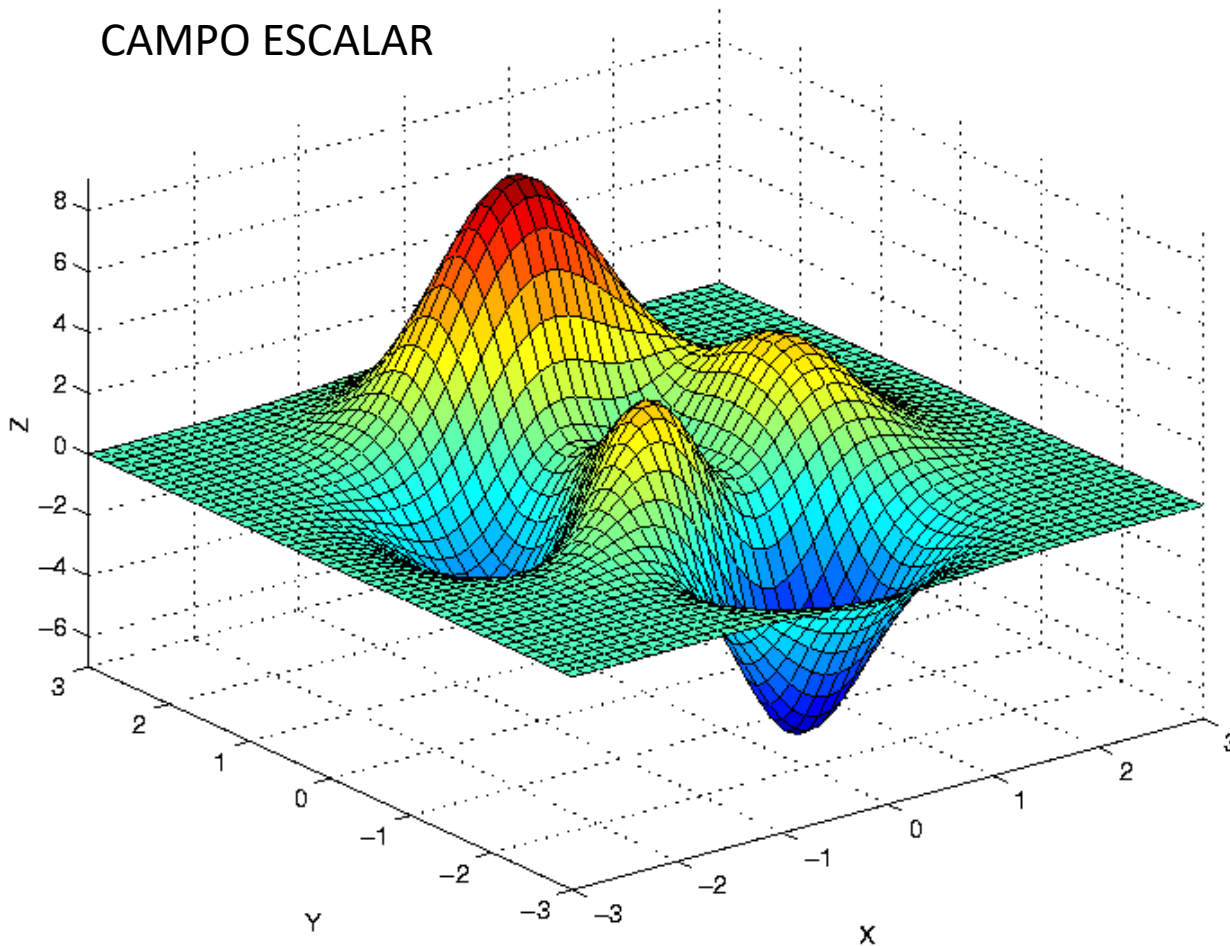
⊖ Agente

• Alvo

+  
Intensidade do  
campo emitido  
por alvos e  
obstáculos  
-

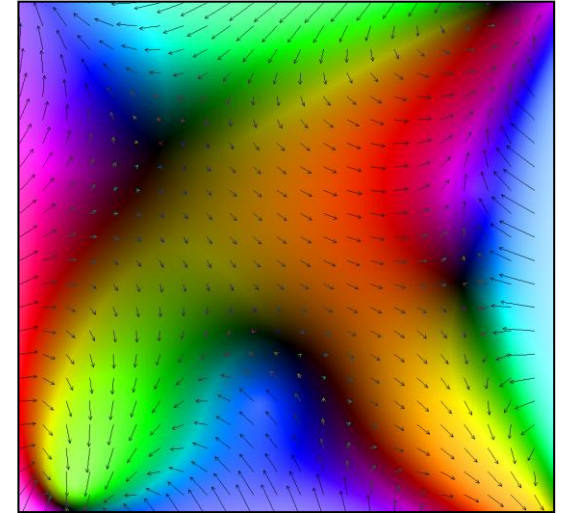
# CAMPOS DE POTENCIAL

CAMPO ESCALAR



$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

CAMPO VECTORIAL



Exemplo: campo magnético

# CAMPOS DE POTENCIAL

- Campo de potencial
- Campo de força
  - **Vector de acção:**
    - **Gradiente** do campo de potencial  $P(x,y)$ :

$$(\Delta x, \Delta y) = \nabla P(x, y) = \left( \frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y} \right)$$

- Informação **local** detectada através dos sensores
- Comportamento **seguir o gradiente**

# CAMPOS DE POTENCIAL

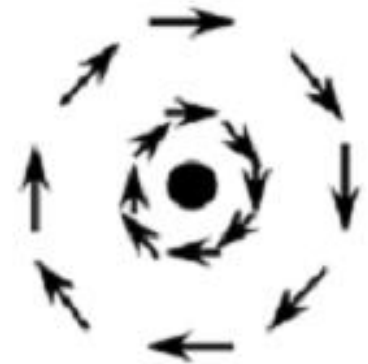
## TIPOS DE CAMPOS DE POTENCIAL



Atractivo



Repulsivo



Tangencial

$$V_{direction} = 0^\circ$$

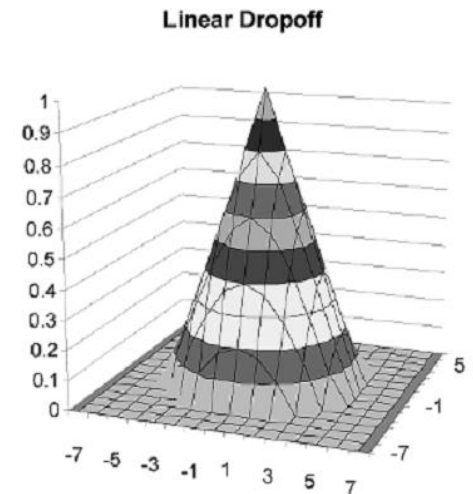
$$V_{direction} = 180^\circ$$

Referencial – Direcção da fonte de potencial

# INTENSIDADE DE CAMPO

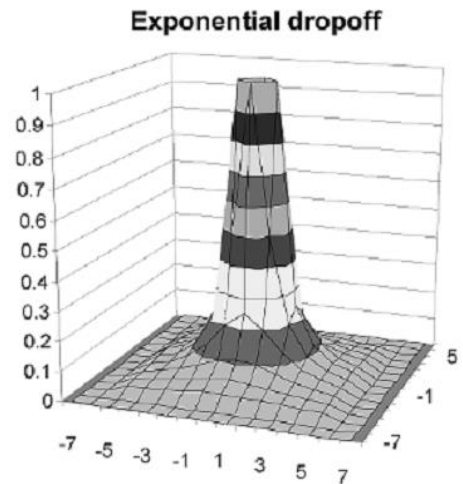
## CAMPO COM DECAIMENTO LINEAR

$$V_{magnitude} = \begin{cases} \frac{(D-d)}{D} & \text{for } d \leq D \\ 0 & \text{for } d > D \end{cases}$$



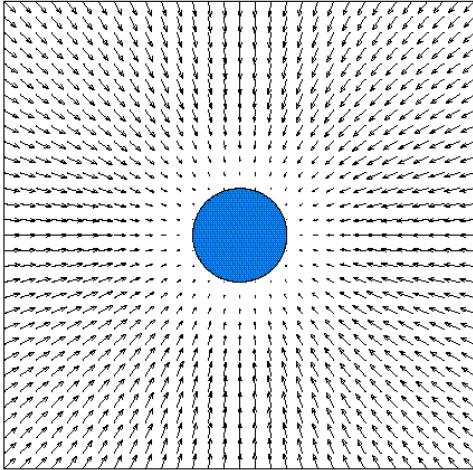
## CAMPO COM DECAIMENTO EXPONENCIAL

$$V_{magnitude} = \gamma^D, \gamma \in [0, 1]$$

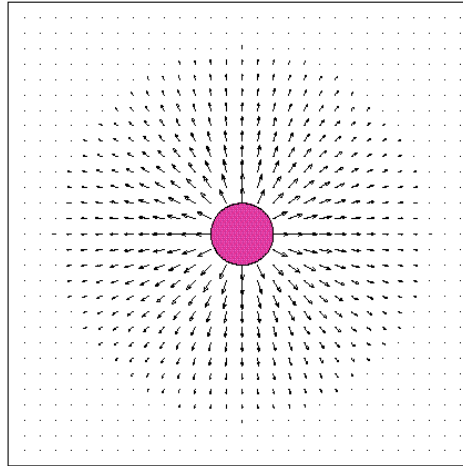


# CAMPOS DE POTENCIAL

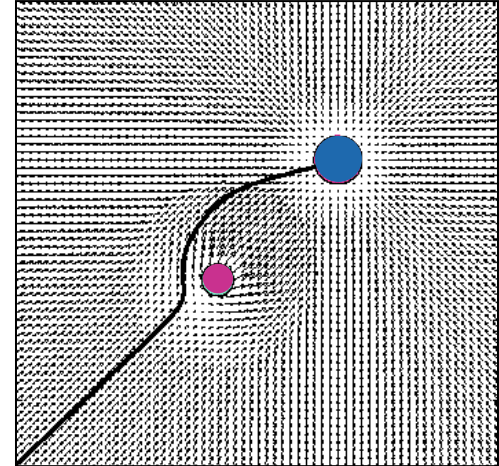
Campo atractivo



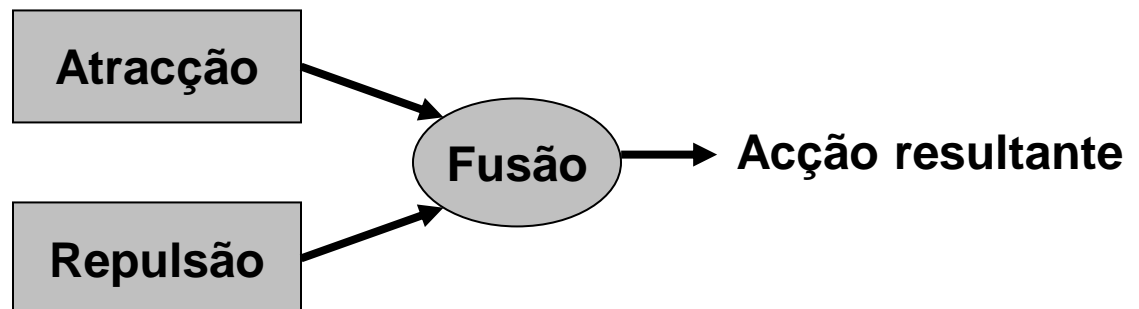
Campo repulsivo



Campo combinado



## COMPOSIÇÃO DE ACÇÕES ATRAVÉS DE FUSÃO



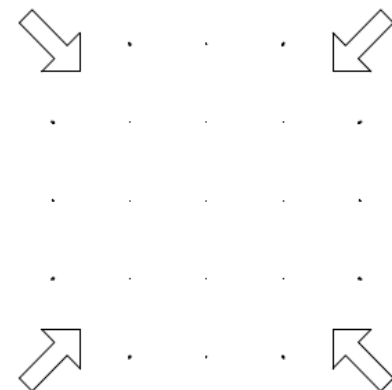
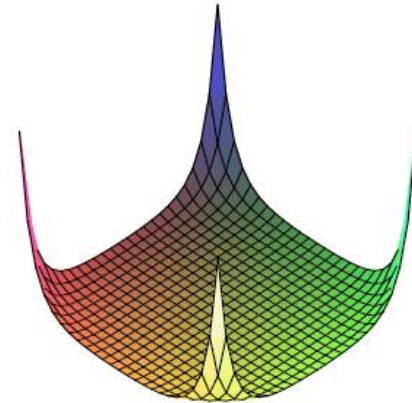
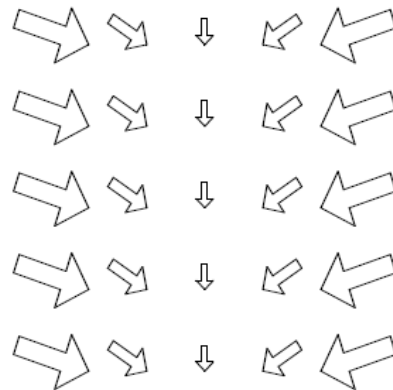
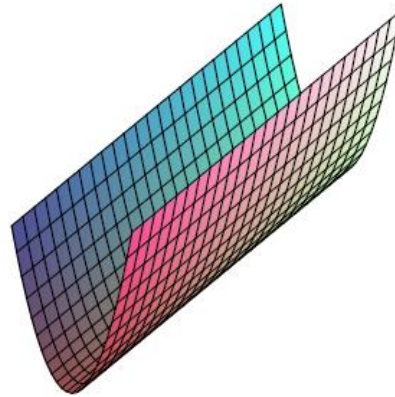
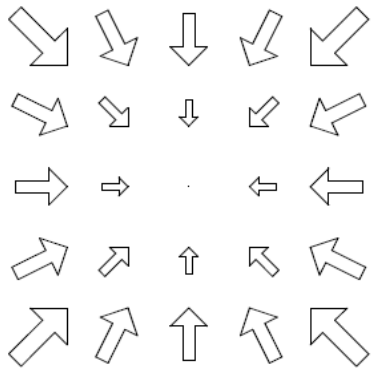
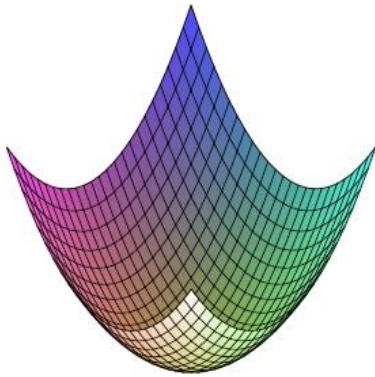
# CAMPOS DE POTENCIAL

- **OBJECTIVOS**
  - Fontes de potencial atractivo
- **OBSTÁCULOS**
  - Fontes de potencial repulsivo
- **Comportamento esperado**
  - Movimentação para um objectivo evitando os obstáculos
- **Problema**
  - **Óptimos locais**
    - Forças atractivas e repulsivas anulam-se
    - Bloqueios



# CAMPOS DE POTENCIAL

## ÓPTIMOS LOCAIS



# CAMPOS DE POTENCIAL

## ÓPTIMOS LOCAIS

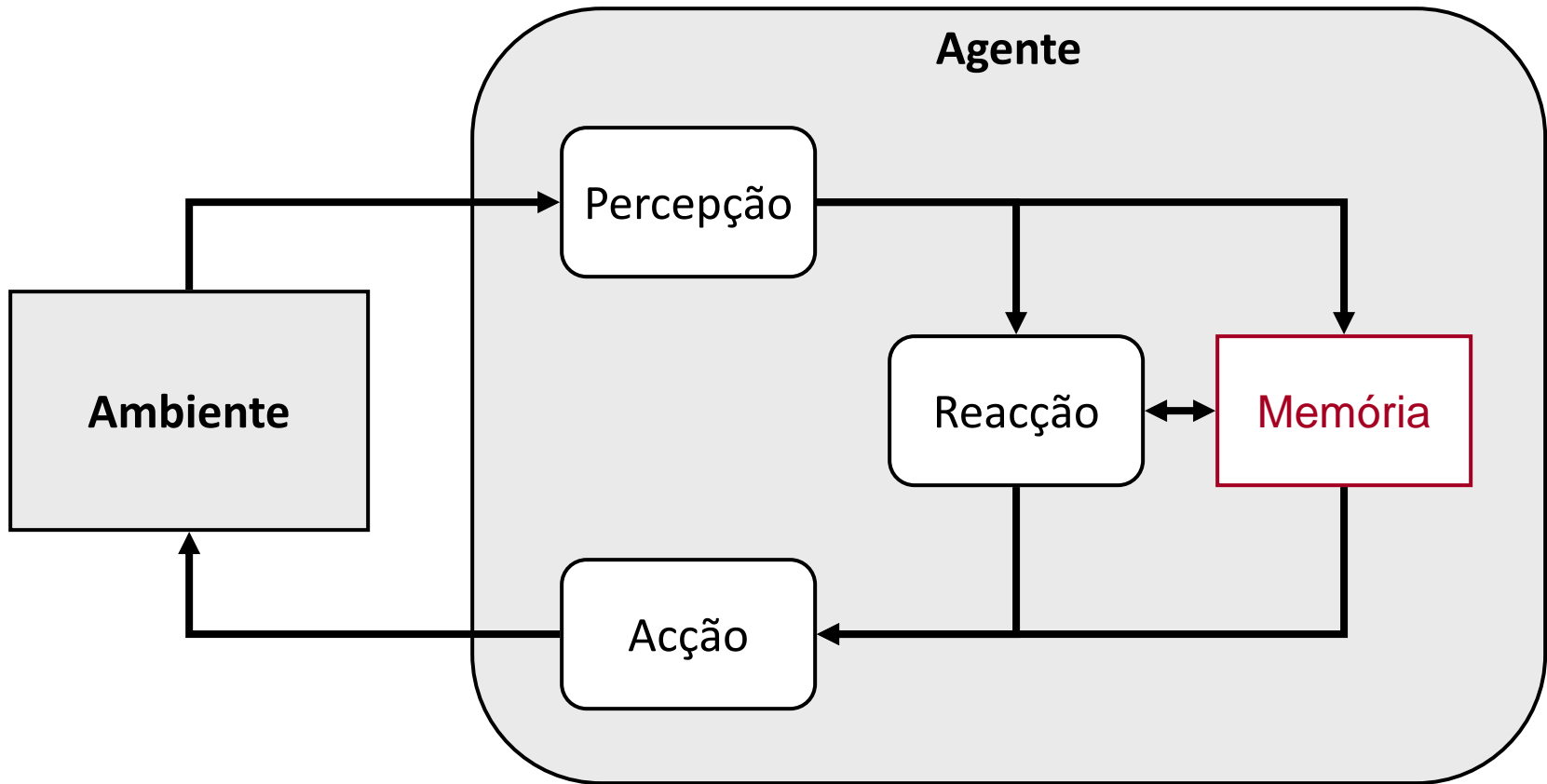
- **Detecção** de óptimos locais
  - Posição
  - Distância
  - Velocidade
- **Resolução** de óptimos locais
  - Exploração aleatória
  - Mecanismos de Retrocesso
  - Mecanismos de Memória

# AGENTES REACTIVOS SEM MEMÓRIA

- **Problemas** na implementação de comportamentos sem memória
  - **Exploração**
    - Necessidade de evitar o passado
  - **Óptimos locais**
    - Por exemplo, **comportamento cíclico** perante determinadas configurações de alvos e obstáculos
- Necessidade de **manutenção de estado**

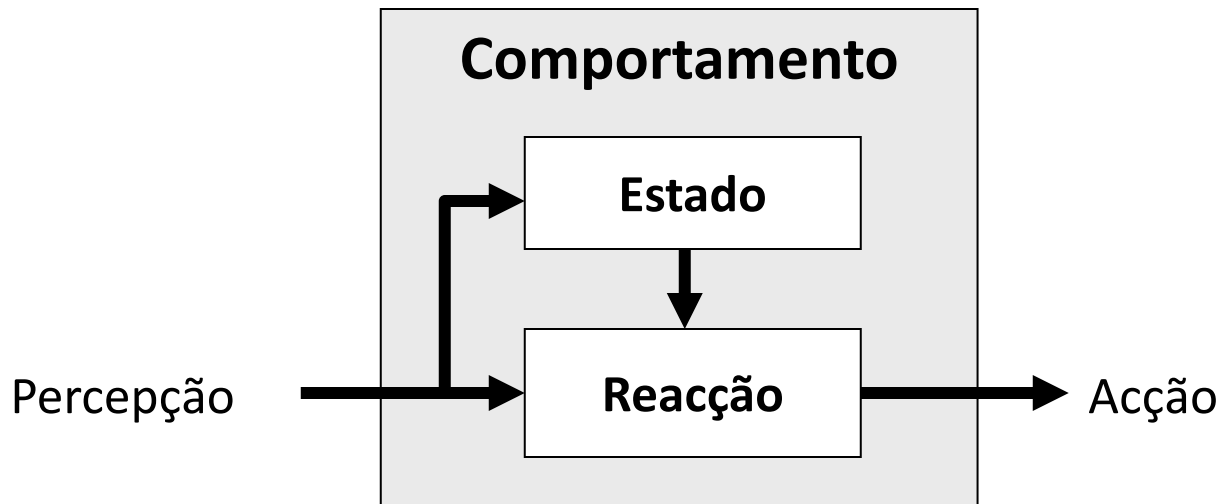
# ARQUITECTURA DE AGENTES REACTIVOS

## ARQUITECTURA REACTIVA COM MEMÓRIA



# AGENTES REACTIVOS COM MEMÓRIA

- **Reacções** podem envolver não apenas percepções mas também **estado interno (memória)**
- Manipulação de estado
  - Regras e acções para **alteração do estado interno**
- **Comportamentos com memória**



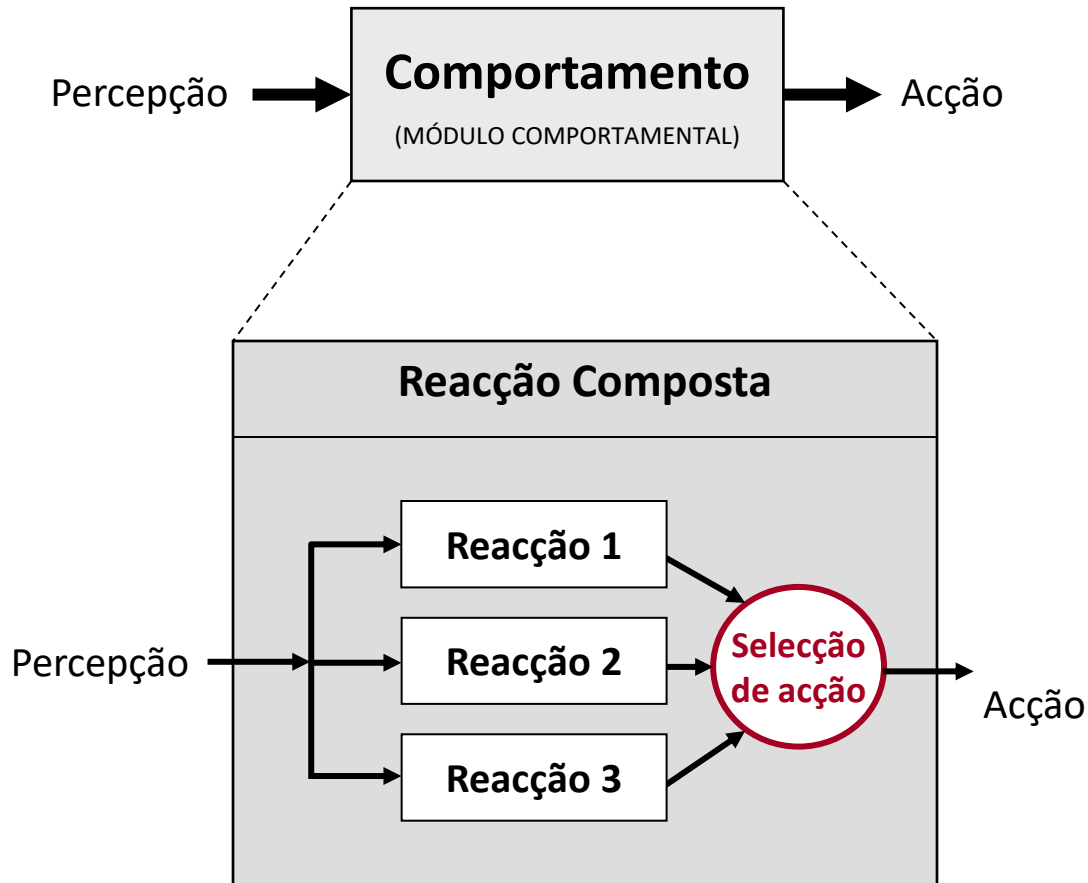
# AGENTES REACTIVOS COM ESTADO

- **Exemplo**

## Comportamento “**Evitar o Passado**”

- Representação interna de **percepções anteriores**
- Geração de **forças repulsivas** para áreas **recentemente visitadas**

# COORDENAÇÃO DE COMPORTAMENTOS



## SELECÇÃO DE ACÇÃO

### HIERARQUIA

- Os comportamentos estão organizados numa hierarquia fixa de supressão

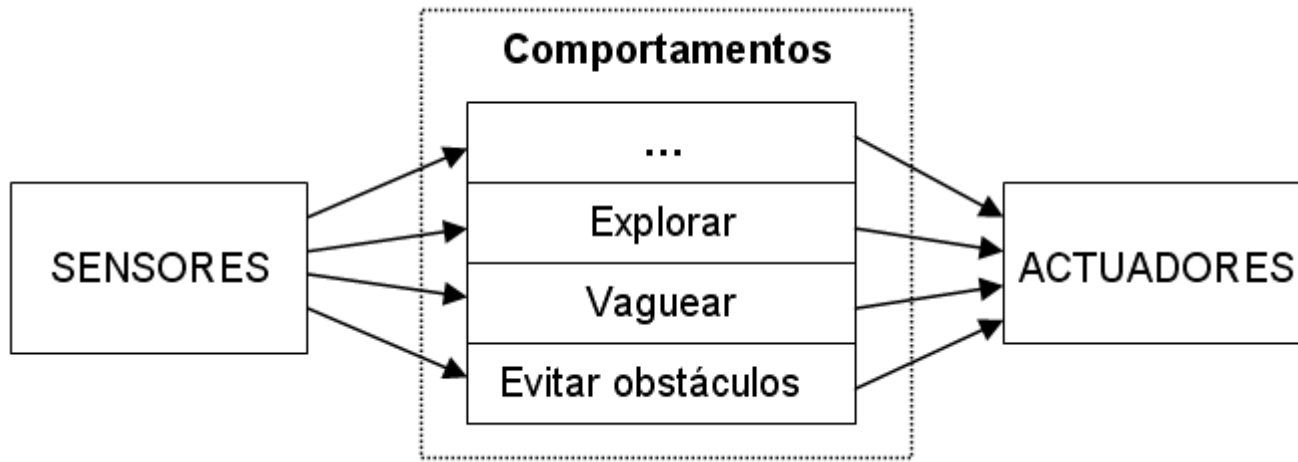
### SELECÇÃO POR PRIORIDADE

- As respostas são seleccionadas de acordo com uma prioridade associada que varia ao longo da execução

### FUSÃO

- As respostas são combinadas numa única resposta por composição (e.g. soma vectorial)

# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO



- **Comportamentos organizados em camadas (níveis de competência)** e responsáveis pela concretização **independente** de um objectivo
- **Resultado do comportamento** pode ser a **entrada de outro comportamento**
- Possibilidade de **comportamentos das camadas superiores assumirem o controlo** sobre comportamentos das camadas inferiores
- Camadas inferiores **não têm conhecimento** das camadas superiores
  - **Hierarquia de comportamentos**

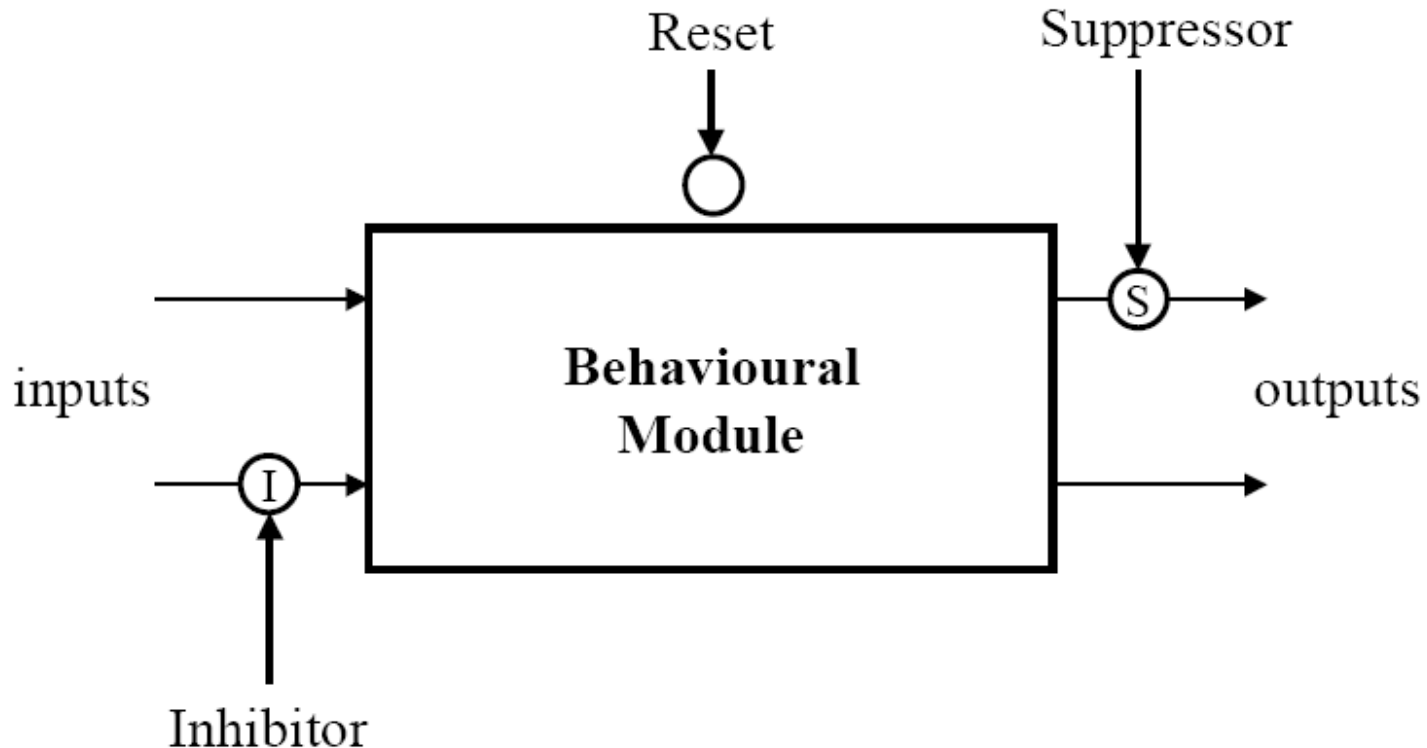


# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

- Saídas das camadas inferiores podem ser utilizadas por camadas superiores
- Camadas superiores controlam as camadas inferiores
  - **Inibição**
    - Desactivação de comunicação entre módulos
  - **Supressão**
    - Desactivação de comportamento
  - **Reinício (*Reset*)**
    - Reposição do estado inicial de um comportamento

# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

## MÓDULOS COMPORTAMENTAIS



[Brooks, 1991]

# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

## EXEMPLO

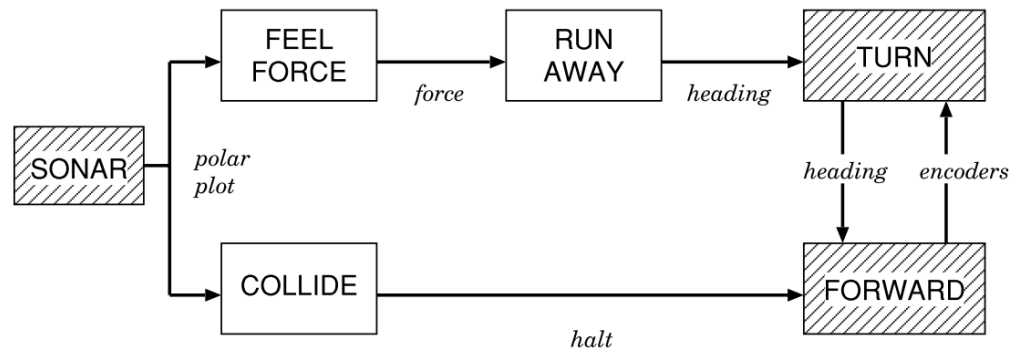
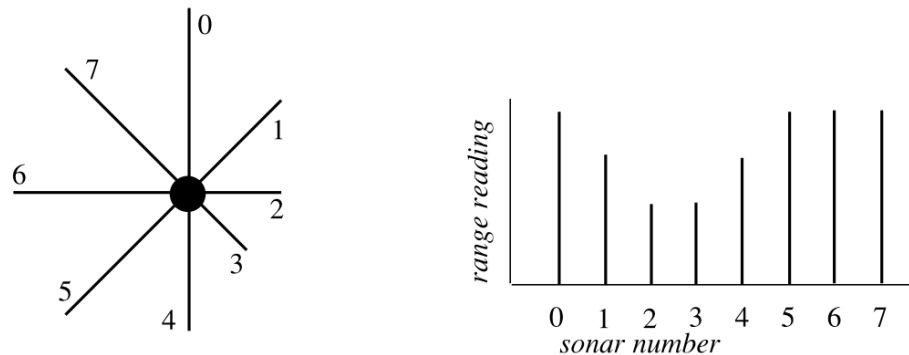


Figure 4.6 Level 0 in the subsumption architecture.



# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

## EXEMPLO

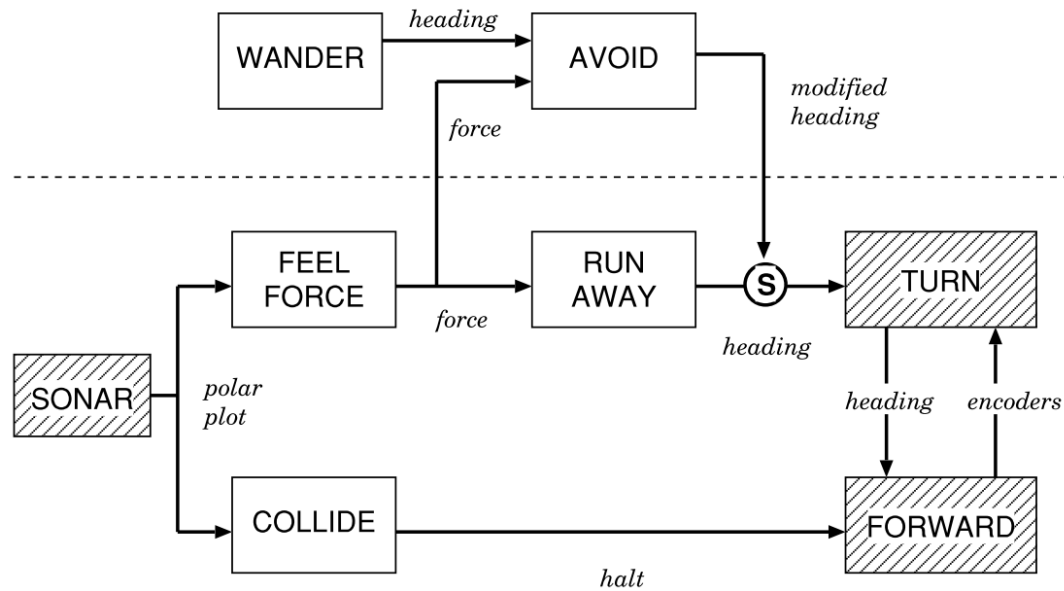


Figure 4.9 Level 1: wander.

# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

## EXEMPLO

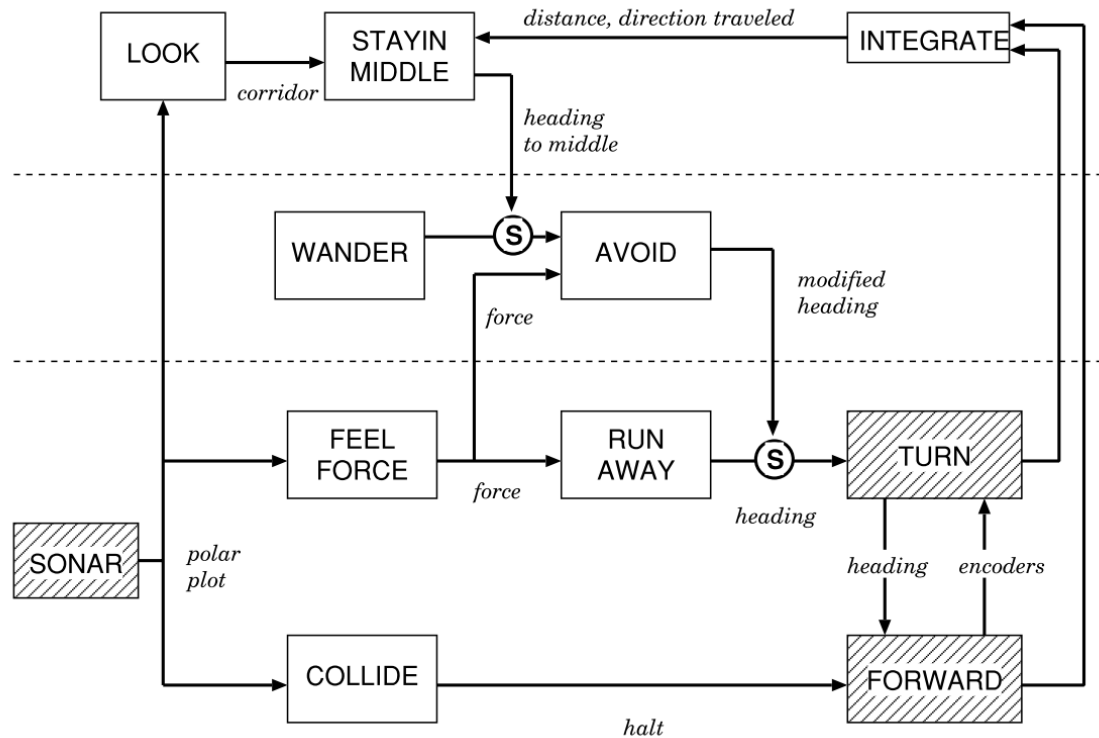


Figure 4.11 Level 2: follow corridors.

# ARQUITECTURA DE SUBSUNÇÃO

- Proposta como **alternativa** a abordagens simbólicas
- Arquitectura definida por **conjuntos de comportamentos**
- Comportamentos organizados em camadas (**níveis de competência**)
- Desenvolvimento **incremental**
- **Robustez**
- **Simplicidade** relativa
- Problemas de escala

# ARQUITECTURA REACTIVA

- **VANTAGENS**

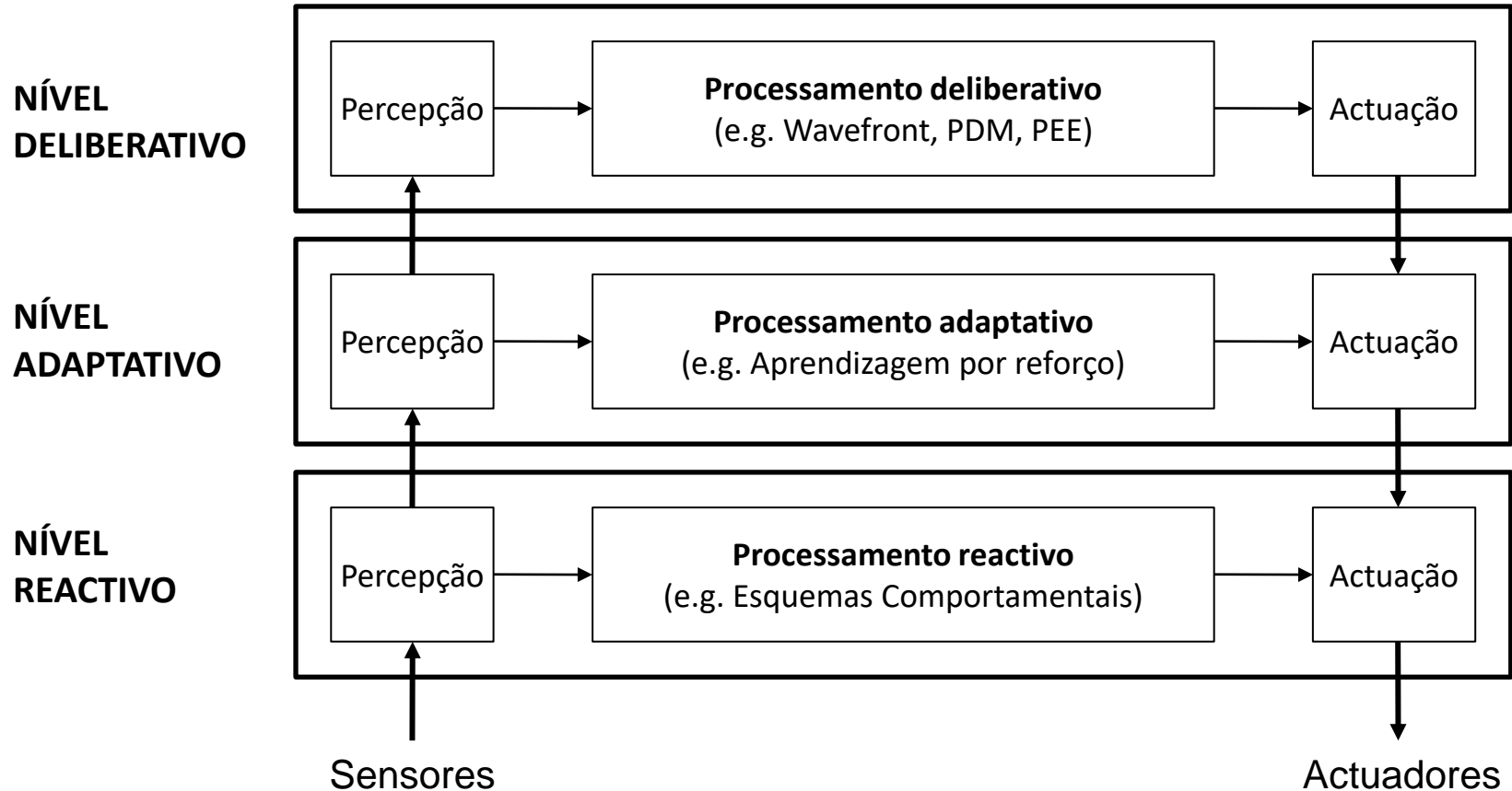
- Reactividade
  - Resposta rápida a estímulos do ambiente
  - Operação em tempo-real
- Robustez
- Desenvolvimento modular

- **DESVANTAGENS**

- Comportamentos limitados
  - Impossibilidade de planejar comportamentos óptimos
- Comportamento condicionado por óptimos locais
- Escalabilidade limitada
  - Desenvolvimento incremental pode levar a grande complexidade
- Forte acoplamento com o ambiente

# ARQUITECTURAS COGNITIVAS

## INTEGRAÇÃO DE NÍVEIS DE ARQUITECTURA





# NÍVEL ADAPTATIVO

## ACOPLAMENTO INDIRECTO AO AMBIENTE

- Memórias associativas de carácter valorativo (afectivo), e.g.  $Q(s,a)$
- Mecanismos valorativos de natureza motivacional, e.g.  $R(s,a,s')$
- Operação em modo discreto (representação discreta de estado e acção)
- Comportamento com base em reacções formadas dinamicamente a partir da interacção com o ambiente
- Resposta rápida
- Utilização de modelos para redução do tempo de aprendizagem

## LIMITAÇÕES

- Tempo de aprendizagem (dependente da complexidade do ambiente)
- Ausência de pro-actividade
- Complexidade computacional

# BIBLIOGRAFIA

[Murphy, 2000]

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

[Wooldridge, 2002]

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

[Pfeifer & Scheier, 2002]

R. Pfeifer, C. Scheier, *Understanding Intelligence*, MIT Press, 2000

[Brooks, 1985]

R. Brooks, *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*, A. I. Memo 864, MIT AI-Lab, 1985

[Hoagland *et al.*, 2001]

M. Hoagland, B. Dodson, J. Hauck, *Exploring The Way Life Works: The Science of Biology*, Jones & Bartlett Learning, 2001

[J. Staddon, 2001]

J. Staddon, *Adaptive Dynamics: The Theoretical Analysis of Behavior*, MIT Press, 2001

[Logan, 2001]

B. Logan, *Designing Intelligent Agents*, School of Computer Science, University of Nottingham, 2001

[Mainzer, 1990]

K. Mainzer, *Thinking in Complexity: The Computational Dynamics of Matter, Mind and Mankind (4<sup>th</sup> ed.)*, Springer, 2004