



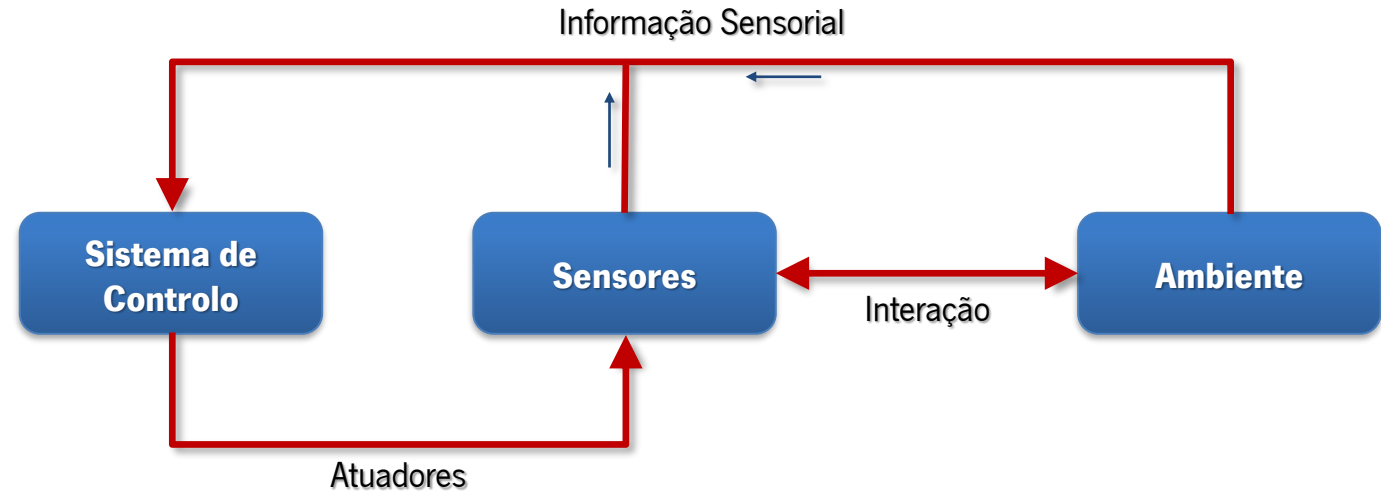
Universidade do Minho
Departamento de Informática

Sistemas de Controlo

SA @ Perfil SI, MEI
2º sem, 2024/2025



- Um **Sistema de Controlo** é responsável por utilizar a informação recolhida do ambiente e calcular o modo como os atuadores vão levar o sistema inteligente a interagir com o ambiente;



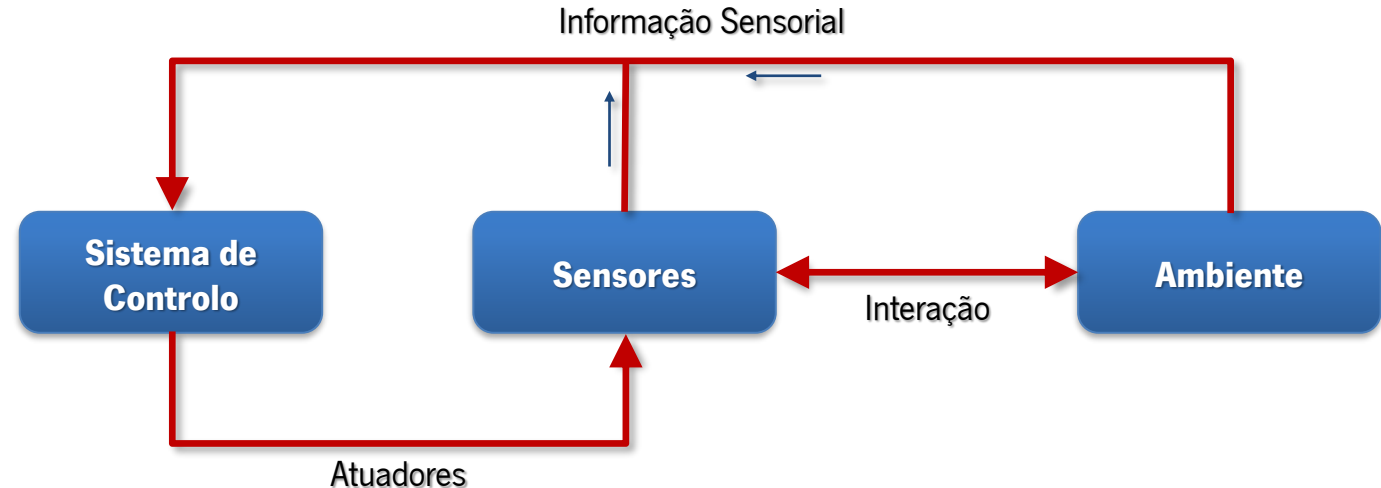


- Um **Sistema de Controlo** é responsável por utilizar a informação recolhida do ambiente e calcular o modo como os atuadores vão levar o sistema inteligente a interagir com o ambiente;





- Um **Sistema de Controlo** é responsável por utilizar a informação recolhida do ambiente e calcular o modo como os atuadores vão levar o sistema inteligente a interagir com o ambiente;
- O **Sistema de Controlo** coordena e executa as funções do sistema inteligente, para alcançar os resultados pretendidos, ou seja, controla os movimentos e as tarefas.





- Um **Sistema de Controlo** é responsável por utilizar a informação recolhida do ambiente e calcular o modo como os atuadores vão levar o sistema inteligente a interagir com o ambiente;
- O **Sistema de Controlo** coordena e executa as funções do sistema inteligente, para alcançar os resultados pretendidos, ou seja, controla os movimentos e as tarefas.





Universidade do Minho
Departamento de Informática

Estratégias de Controlo



Estratégias de Controlo

- Decisão sobre a adoção de estratégias para utilização de informação do ambiente (sensorização), para controlar o sistema inteligente (atuação):
 - “Open Loop”;
 - “Closed Loop”:
 - “Feedforward”;
 - “Feedback”.

- @ MathWorks – video and webinar series.
 - [mathworks.com/videos/series/understanding-control-systems-123420.html](https://www.mathworks.com/videos/series/understanding-control-systems-123420.html)





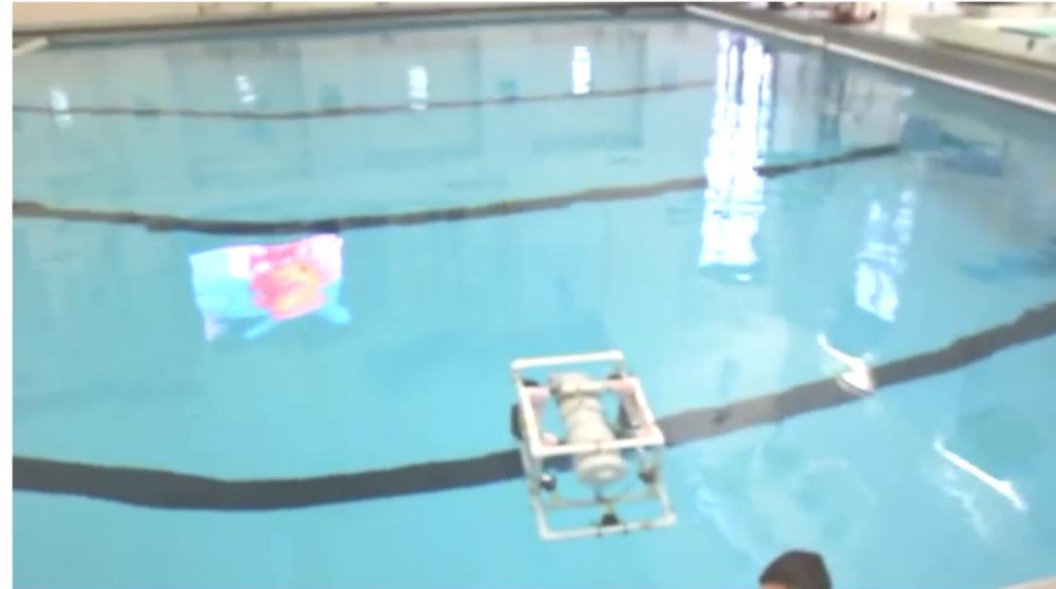
- “Open Loop”:
 - não utilizam sensores;
 - não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
 - desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
 - apresenta maior utilidade quando o ambiente é estático e/ou previsível;
- Exemplo:
 - a movimentação de um dispositivo a uma velocidade constante, dentro de água;
 -

Slow
Open-Loop Control



- “Open Loop”:
 - não utilizam sensores;
 - não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
 - desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
 - apresenta maior utilidade quando o ambiente é estático e/ou previsível;

- Exemplo:
 - a movimentação de um dispositivo a uma velocidade constante, dentro de água;
 - o sistema de controlo calculará a energia que é necessário transmitir aos motores de modo a conseguir alcançar a ação desejada do sistema inteligente;





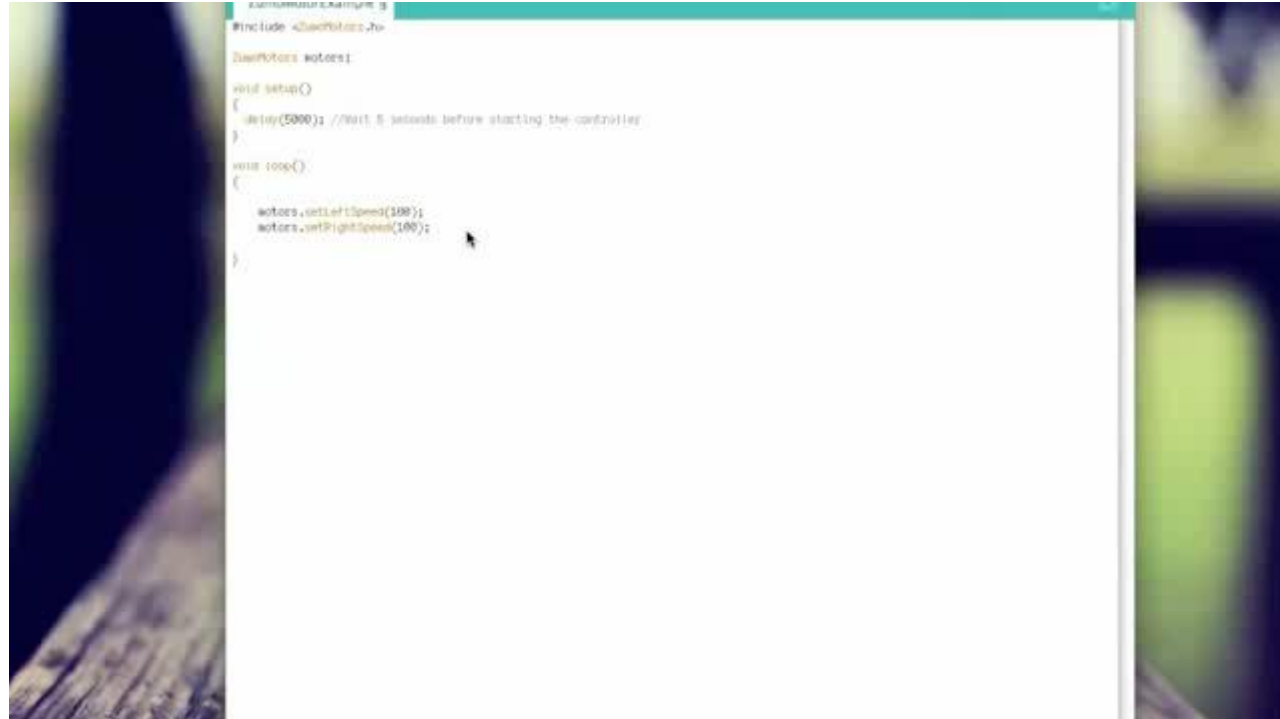
- “Open Loop”:
 - não utilizam sensores;
 - não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
 - desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
 - apresenta maior utilidade quando o ambiente é estático e/ou previsível;

- Desvantagens?

- -
 -

- Vantagens?

- -
 -





- “Open Loop”:
 - não utilizam sensores;
 - não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
 - desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
 - apresenta maior utilidade quando o ambiente é estático e/ou previsível;
- Desvantagens?
 - não é possível avaliar a diferença entre o comando da ação e o resultado da sua execução;
 - há acumulação de erros durante a execução;
 - não é regulável quando há variações no **sistema** ou no **ambiente**.
- Vantagens?
 -
 -
 -





- “Open Loop”:
 - não utilizam sensores;
 - não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
 - desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
 - apresenta maior utilidade quando o ambiente é estático e/ou previsível;
- Desvantagens?
 - não é possível avaliar a diferença entre o comando da ação e o resultado da sua execução;
 - há acumulação de erros durante a execução;
 - não é regulável quando há variações no **sistema** ou no **ambiente**.
- Vantagens?
 - controlo simples quando não se pretende elevada precisão de execução;
 - grande parte das ações são dependentes, apenas, do tempo;
 - implementação baseada em tentativa/erro ou modelos físicos.



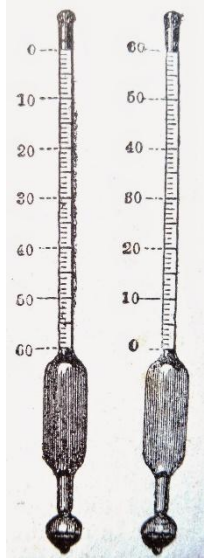


■ “Feedforward”:

- os sensores são utilizados, apenas, para receber informação do **ambiente**;
- a informação do **ambiente** é utilizada para atualizar as variáveis que modelam o **sistema**;

■ Exemplo:

- um aerómetro (sensor de densidade, densímetro) ou um anemómetro (sensor de vento) permitirão perceber se a energia necessária aos motores, para manter a velocidade constante, deve ser alterada;
- acelerómetros e giroscópios medem a rotação de um corpo, corrigindo a posição em movimento;

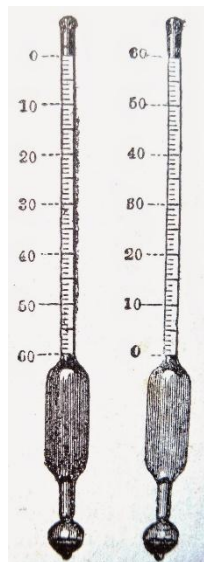




■ “Feedforward”:

- os sensores são utilizados, apenas, para receber informação do **ambiente**;
- a informação do **ambiente** é utilizada para atualizar as variáveis que modelam o **sistema**;

■ Exem





- “Feedforward”:

- os sensores são utilizados, apenas, para receber informação do **ambiente**;
- a informação do **ambiente** é utilizada para atualizar as variáveis que modelam o **sistema**;

- Exemplo:

- um aerómetro (sensor de densidade, densímetro) ou um anemómetro (sensor de vento) permitirão perceber se a energia necessária aos motores, para manter a velocidade constante, deve ser alterada;
- acelerómetros e giroscópios medem a rotação de um corpo, corrigindo a posição em movimento;

- Desvantagens:

- apresenta menor utilidade quando o **ambiente** é dinâmico.

- Vantagens:

- permite calibrar as execução das ações com informação do **ambiente**.





Estratégias de Controlo

- “Feedback”:
 - utiliza os sensores para monitorizar o **ambiente** de forma contínua;
 - ajusta a ação dos atuadores de acordo com a interpretação do estado resultante;
- Exemplo:
 - um termostato controla e regula a temperatura de um sistema;
 - um velocímetro permite calcular a diferença entre a velocidade atual e a velocidade pretendida, atuando sobre a energia fornecida aos motores, corrigindo a ação;
- Desvantagens:
 -
- Vantagens:
 -





- “Feedback”:
 - utiliza os sensores para monitorizar o **ambiente** de forma contínua;
 - ajusta a ação dos atuadores de acordo com a interpretação do estado resultante;
- Exemplo:
 - um termóstato controla e regula a temperatura de um sistema;
 - um velocímetro permite calcular a diferença entre a velocidade atual e a velocidade pretendida, atuando sobre a energia fornecida aos motores, corrigindo a ação;
- Desvantagens:
 - maior dificuldade de implementação;
 - menor estabilidade devido à retroalimentação de informação;
- Vantagens:
 - permite “aliviar” o peso computacional de modelos físicos ou da dinâmica dos corpos;
 - lida bem com alterações no **sistema** ou no **ambiente**.





Universidade do Minho
Departamento de Informática

Arquiteturas de Controlo



Arquiteturas de Controlo

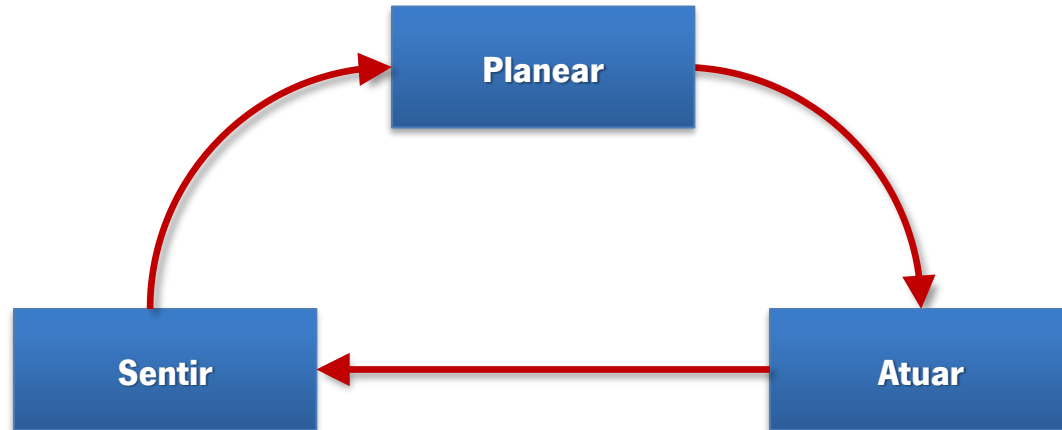
- Uma **Arquitetura de Controlo** estabelece o modo como a atuação do sistema inteligente vai ser implementada, por integração dos diversos componentes:
 - Arquitetura Deliberativa;
 - Arquitetura Reativa;
 - Arquitetura Híbrida;
 - Arquitetura Comportamental.





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

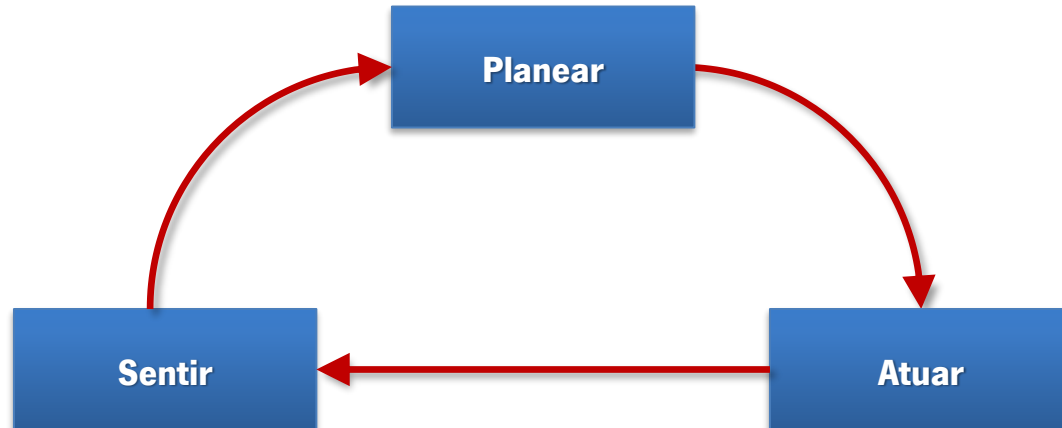
- Requiere que o sistema inteligente execute um conjunto de ações **Sentir-Planejar-Atuar** (Sense-Plan-Act - SPA), combinando os dados sensoriais num mapa do ambiente, usando o planeador para definir as ações e enviando os passos do planeamento para os atuadores.





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

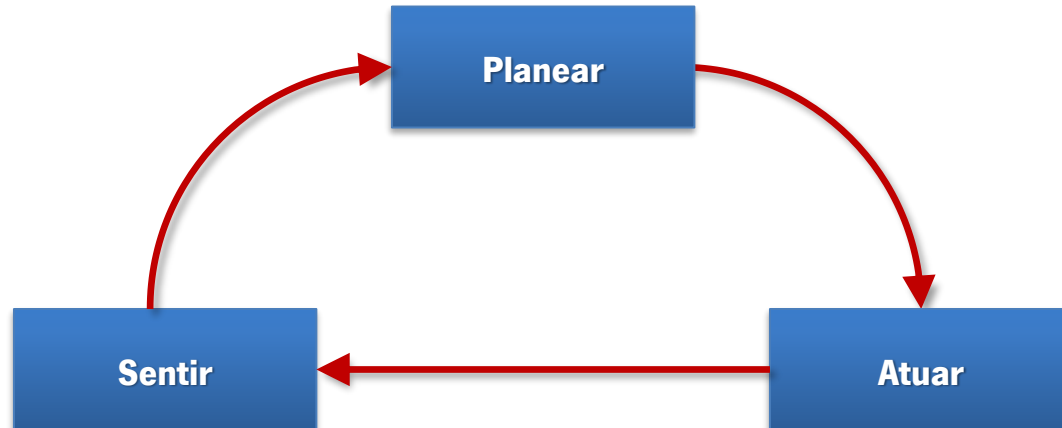
- **Sense/Sentir**: aquisição de dados do ambiente através de sensores;
- **Plan/Planear**: utilização dos dados sensoriais para construção de um modelo do ambiente e planear o modo de alcançar os objetivos;
- **Act/Atuar**: execução do plano.





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

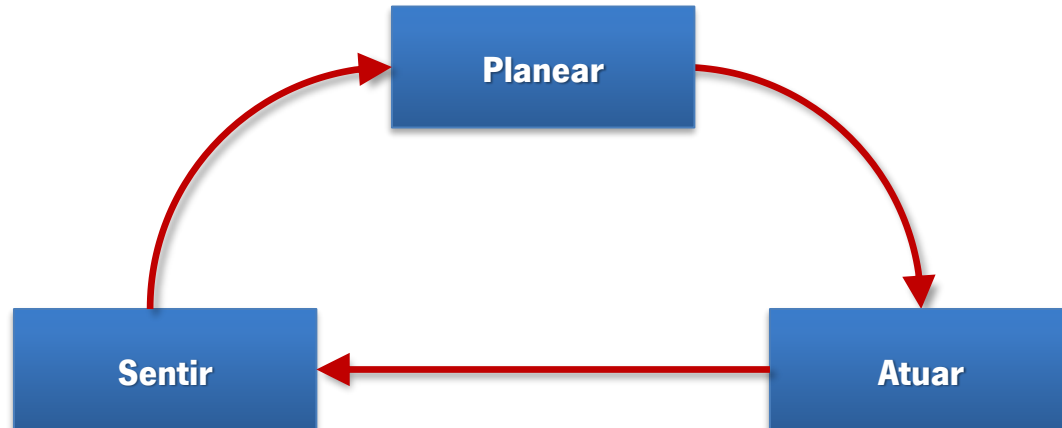
- Caracteriza-se por:
 - elevado tempo consumido na aquisição de dados sensoriais e no processo de planeamento;
 - reduzido tempo dedicado à atuação (execução do planeamento).





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

- Vantagens:
 - elevado grau de “sophisticação” dos comportamentos programados;
 - execução de ações de alto-nível.





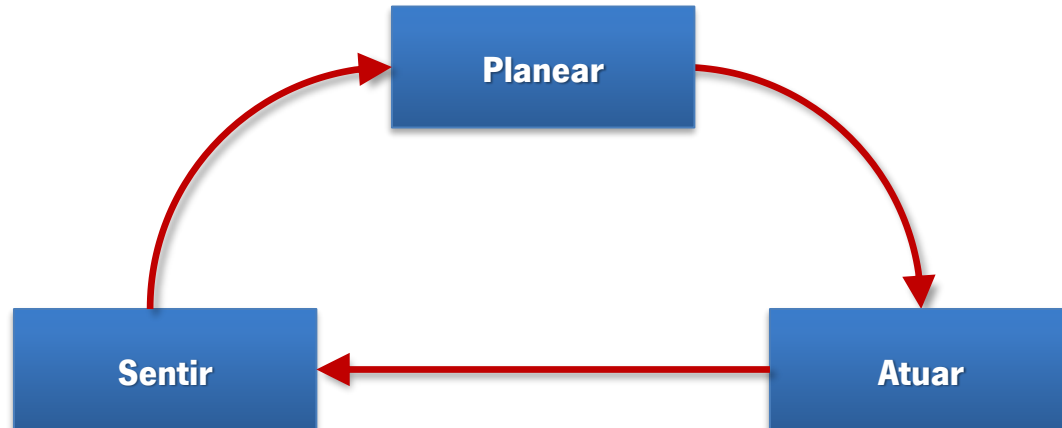
Arquiteturas de Controlo Deliberativa

■ Vantagens:

- elevado grau de “sofisticação” dos comportamentos programados;
- execução de ações de alto-nível.

■ Desvantagens:

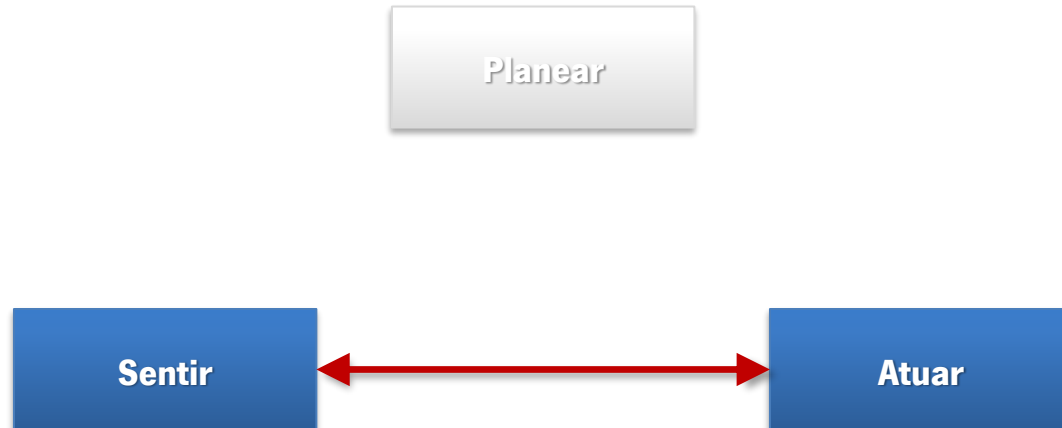
- dificuldade de operação fora de ambientes controlados ou conhecidos;
- incapacidade para lidar com ruído (sensores) devido ao recurso a modelos do ambiente.





Arquiteturas de Controlo Reativa

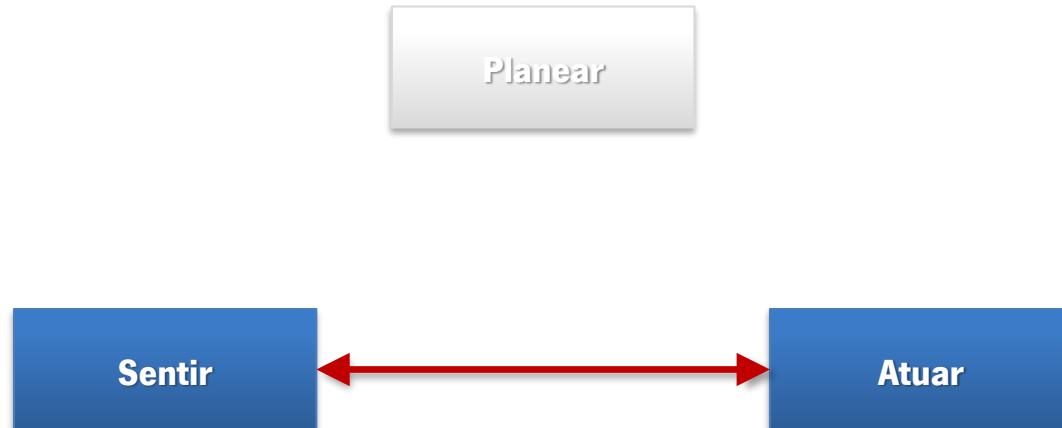
- Alcança rápidos tempos de resposta, embebendo o controlo do sistema inteligente num conjunto de regras condição-ação pré-programadas, e com uma representação mínima do ambiente;





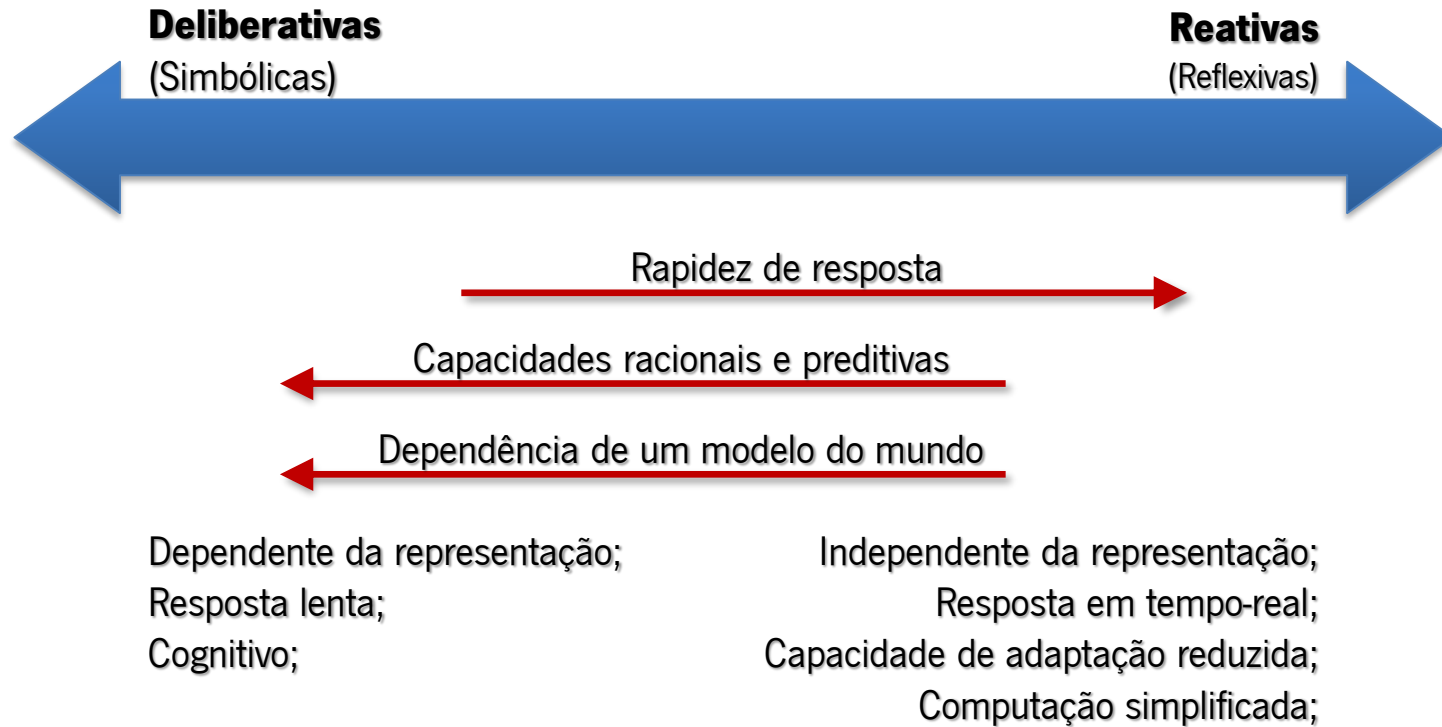
Arquiteturas de Controlo Reativa

- Alcança rápidos tempos de resposta, embebendo o controlo do sistema inteligente num conjunto de regras condição-ação pré-programadas, e com uma representação mínima do ambiente;
- Baseia a funcionalidade no princípio da reação a estímulos e na suposição de que um **comportamento inteligente emergirá** da interação com sistemas complexos (e dinâmicos).





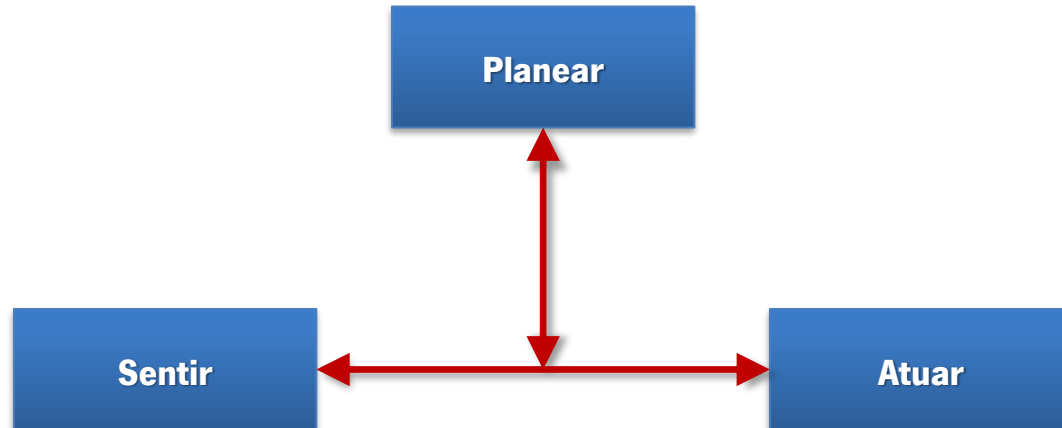
Arquiteturas de Controle Deliberativa vs Reativa





Arquiteturas de Controlo Híbrida

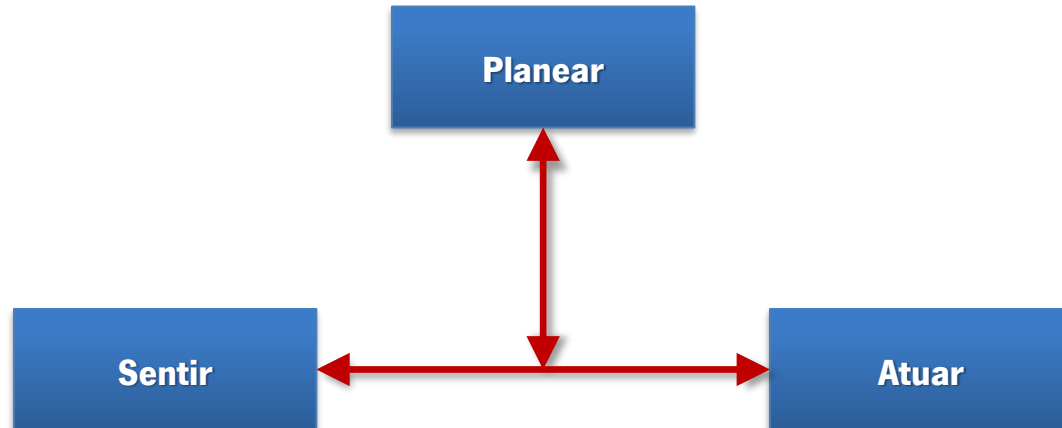
- Pretende alcançar um compromisso entre as arquiteturas deliberativa e reativa, aplicando sistemas reativos no controlo de baixo nível e sistemas deliberativos ao nível da tomada de decisão.





Arquiteturas de Controlo Híbrida

- Vantagens:
 - integra num só sistema a capacidade de reagir a eventos e o raciocínio deliberativo característico de um grau de inteligência mais complexo (avançado);





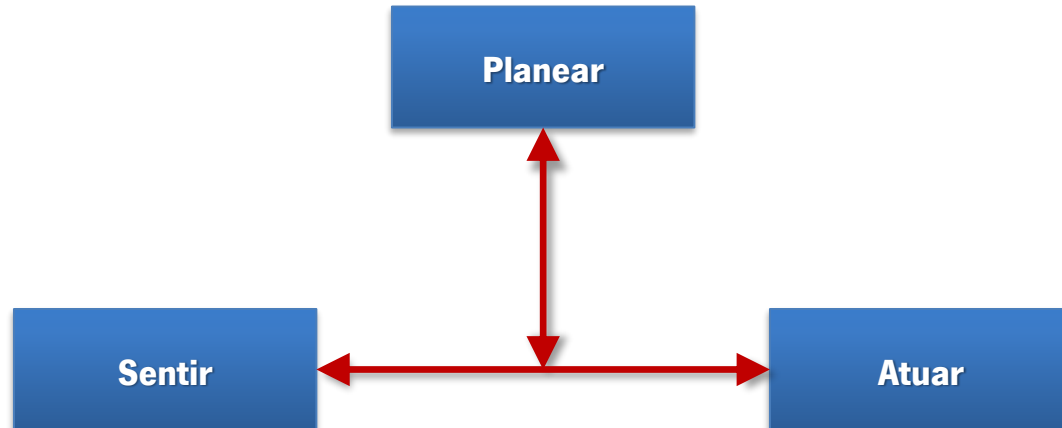
Arquiteturas de Controlo Híbrida

■ Vantagens:

- integra num só sistema a capacidade de reagir a eventos e o raciocínio deliberativo característico de um grau de inteligência mais complexo (avançado);

■ Desvantagens:

- dificuldade em lidar com a integração das duas aproximações;
- pressupõe aumento na complexidade do sistema, com a inclusão de um módulo de gestão de conflitos e tomada de decisão.





- Uma **Arquitetura de Controlo** estabelece o modo como a atuação do sistema inteligente vai ser implementada, por integração dos diversos componentes:
 - Arquitetura Deliberativa;
 - Arquitetura Reativa;
 - Arquitetura Híbrida;
 - **Arquitetura Comportamental.**



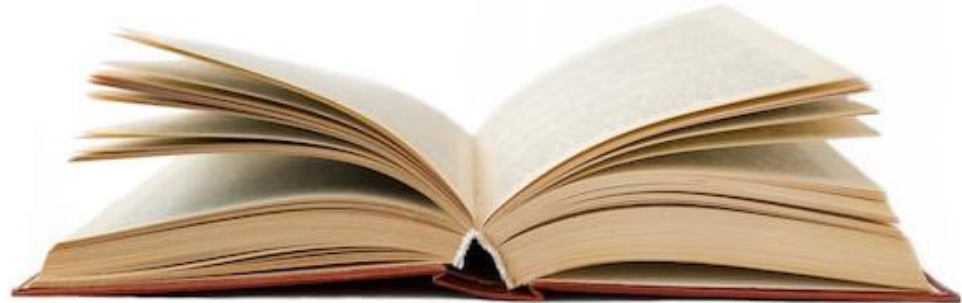


Arquiteturas de Controlo Comportamental

- De inspiração biológica, procura mimetizar comportamentos na resolução de problemas (complexos);
- Consiste numa coleção de comportamentos cuja finalidade é alcançar ou manter determinados objetivos;
- Representa uma perspetiva alternativa às **Arquiteturas Híbridas**;
- O alcance de um objetivo é conseguido pela execução de uma rede de comportamentos;
- Comportamentos típicos são:
 - evitar obstáculos;
 - ir para o início/fim;
 - manter velocidade;
 - virar à direita/esquerda;
- Comportamentos são implementados como regras de controlo;
- Cada comportamento capta informação dos sensores do **sistema**, do **ambiente** ou de outros comportamentos e envia comandos para os atuadores do sistema.



- Ronald Arkin, “Behavior Based Robotics”, The MIT Press, 1998.
- Farlei Heinen, “Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos”, UNISINOS, 2002.
- J. Borenstein, H.R. Everett, L. Feng, “’Where am I?’ – Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning”, University of Michigan, 1996.
- Leonard, Durrant-Whyte, “Robot localization using vision and odometry”, University of Oxford, 1991.





Universidade do Minho
Departamento de Informática

Sistemas de Controlo

SA @ Perfil SI, MEI
2º sem, 2024/2025