

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Estratégias de Controlo

Sistemas Autónomos

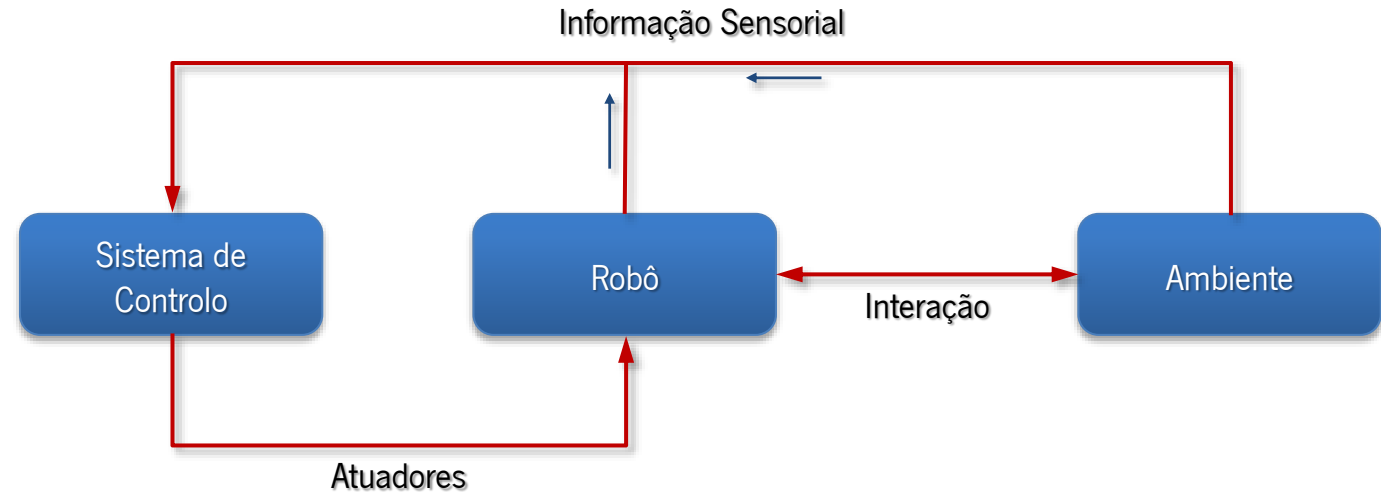
Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes



Sistemas de Controlo

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





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

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



- @ MathWorks – video and webinar series:
 - <https://www.mathworks.com/videos/series/understanding-control-systems-123420.html>



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

- “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 sistema autónomo a uma velocidade constante, dentro de água;
-

Slow
Open-Loop Control



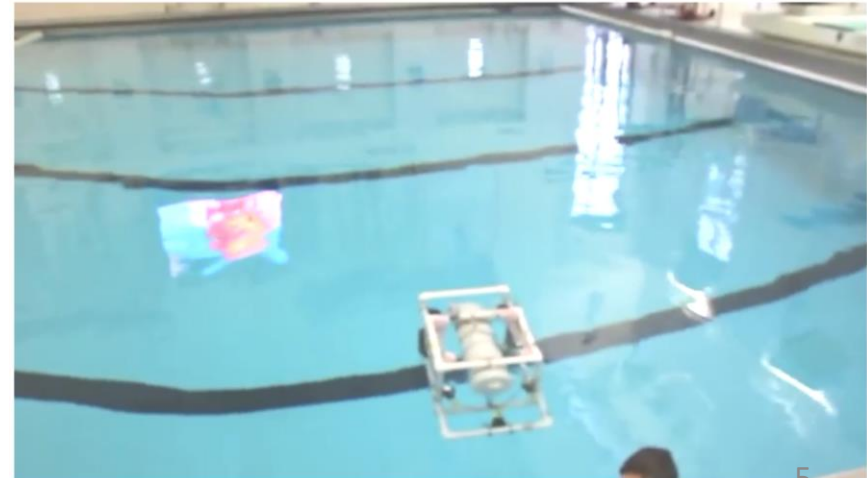
Estratégias de Controlo

- “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 sistema autónomo 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 autónomo;





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

■ “Open Loop”:

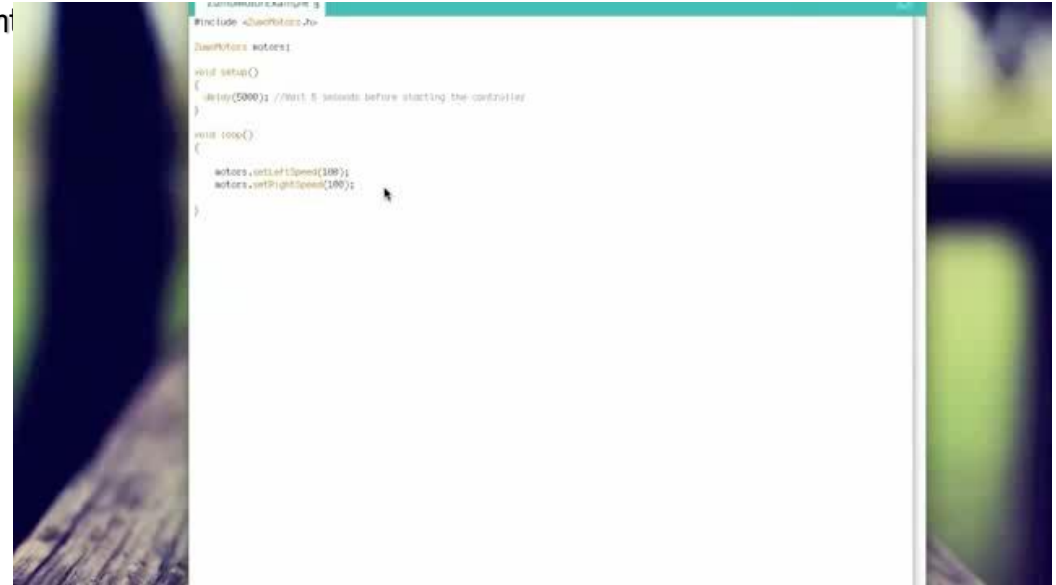
- não utilizam sensores;
- não há *feedback* de informação durante a execução de um plano de ação;
- desenvolvem-se modelos baseados na física e na dinâmica dos corpos;
- apresenta maior utilidade quando o ambiente

■ Desvantagens?

-
-
-

■ Vantagens?

-
-
-





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

■ “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 regulável quando há variações no **sistema** ou no **ambiente**.

■ Vantagens?

-
-
-





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

■ “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 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.





Estratégias de Controlo

- “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 do ar) 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;



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Estratégias de Controlo

▪ “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 do ar) é necessária aos motores, para manter a velocidade;
- acelerómetros e giroscópios medem a rotação;





Estratégias de Controlo

- “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 do ar) 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:

-

- Vantagens:

-



Estratégias de Controlo

- “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 do ar) 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 fraca utilidade quando o **ambiente** é dinâmico.

- Vantagens:

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



Estratégias de Controlo

- “Feedback”:

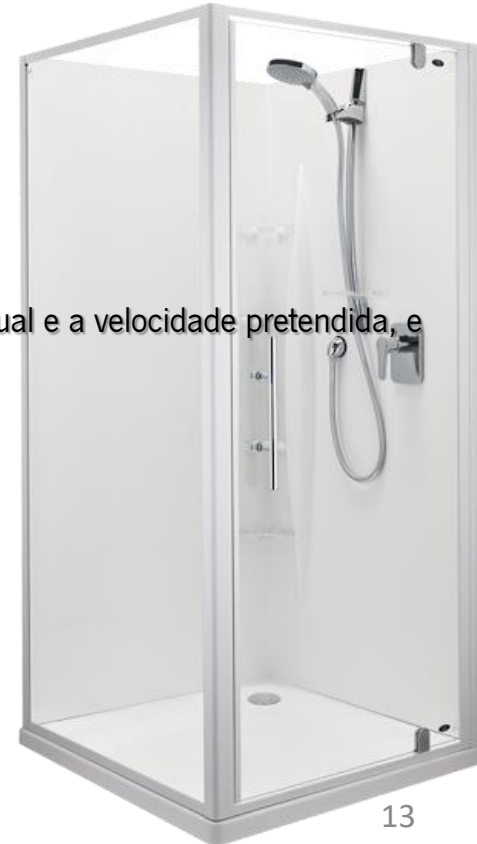
- utiliza os sensores para monitorizar o ambiente de forma contínua;
- ajusta a ação dos atuadores de acordo com a interpretação do seu estado resultante;

- Exemplo:

- um velocímetro permite calcular, em cada momento, a diferença entre a velocidade atual e a velocidade pretendida, e atuar sobre a energia fornecida aos motores, corrigindo a ação;
- um termóstato controla e regula a temperatura de um sistema;

- Desvantagens:

- Vantagens:





ISLab

Synthetic Intelligence Lab

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 seu estado resultante;

- Exemplo:

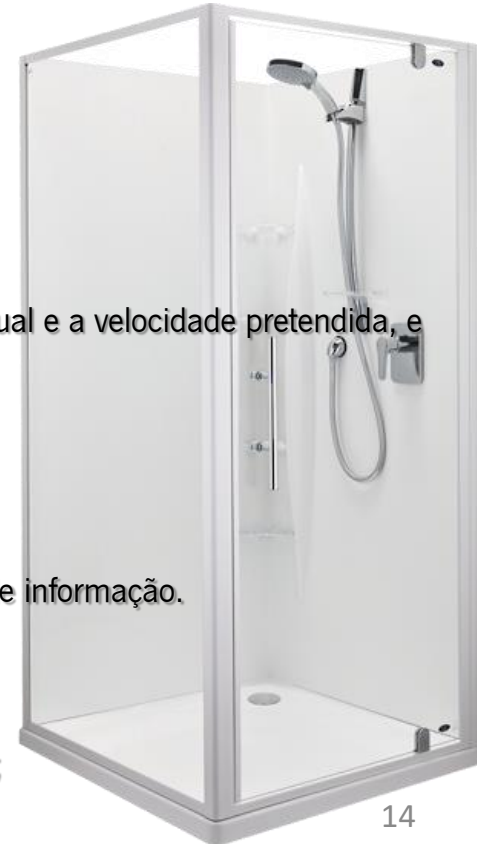
- um velocímetro permite calcular, em cada momento, a diferença entre a velocidade atual e a velocidade pretendida, e atuar sobre a energia fornecida aos motores, corrigindo a ação;
- um termóstato controla e regula a temperatura de um sistema;

- Desvantagens:

- maior dificuldade de implementação e 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

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Arquiteturas de Controlo

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Controlo

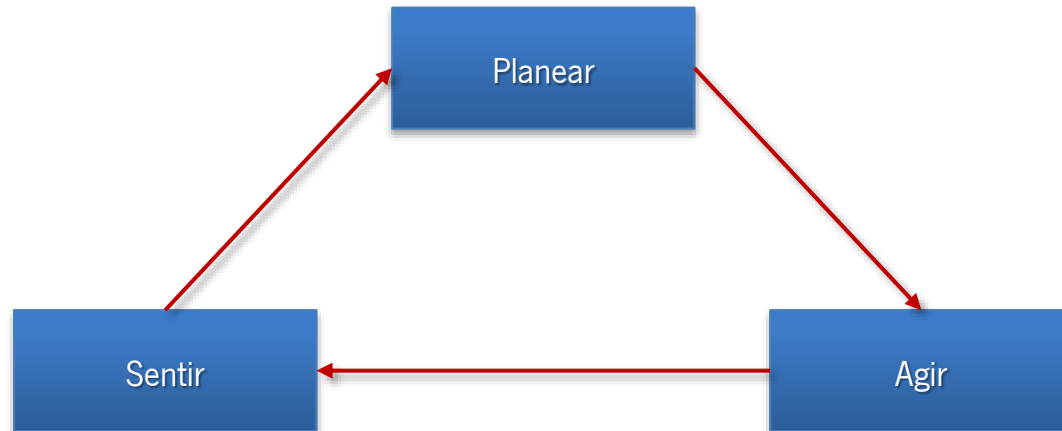
- Uma arquitetura de controlo estabelece o modo como o comportamento do sistema vai ser implementado, por integração dos seus diversos componentes:
 - Arquitetura Deliberativa;
 - Arquitetura Reativa;
 - Arquitetura Híbrida;

 - Arquitetura Comportamental.



Arquiteturas de Controlo Deliberativa

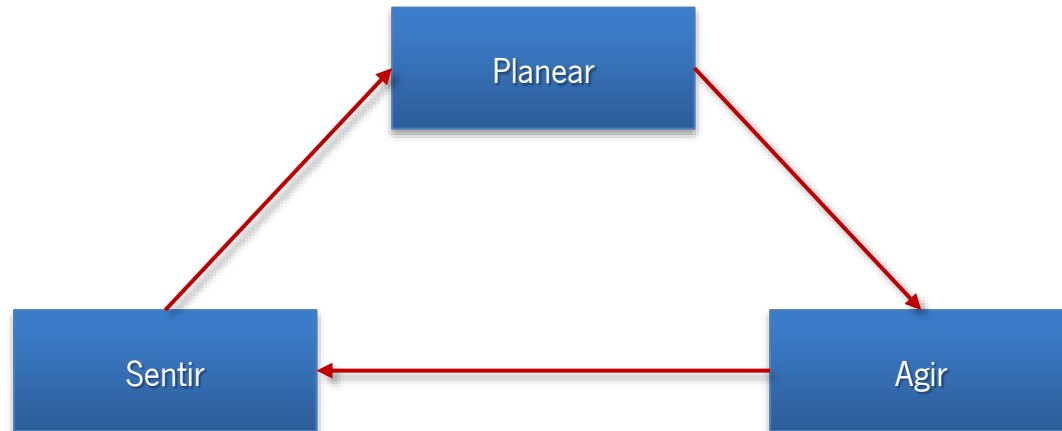
- Requiere que o robô execute um conjunto de ações **Sense-Plan-Act** (SPA), combinando os dados sensoriais num mapa do mundo, usando o planeador para encontrar o caminho e enviando os passos do planeamento para os atuadores.





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

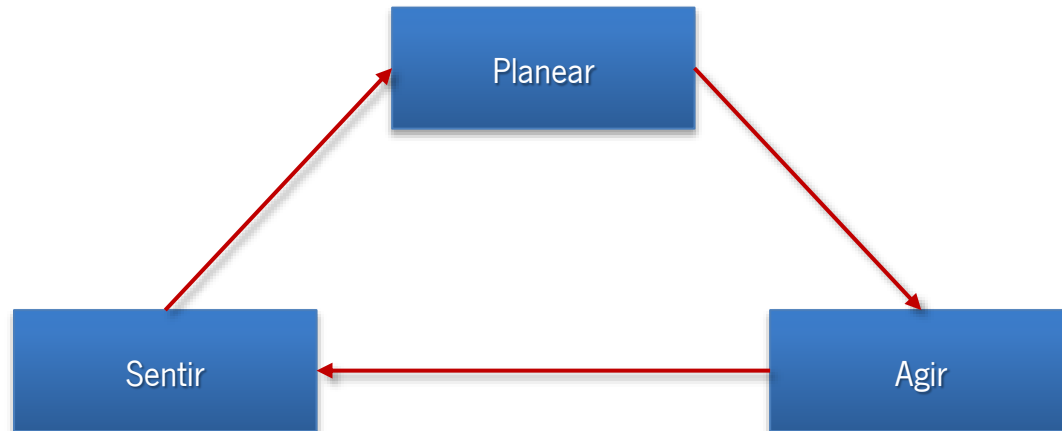
- **Sense/Sentir**: aquisição de dados do ambiente através de sensores;
- **Plan/Planear**: utilização dos dados sensoriais para construção de um modelo do mundo e planear o modo de alcançar os objetivos;
- **Act/Agir**: execução do plano.





Arquiteturas de Controlo Deliberativa

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





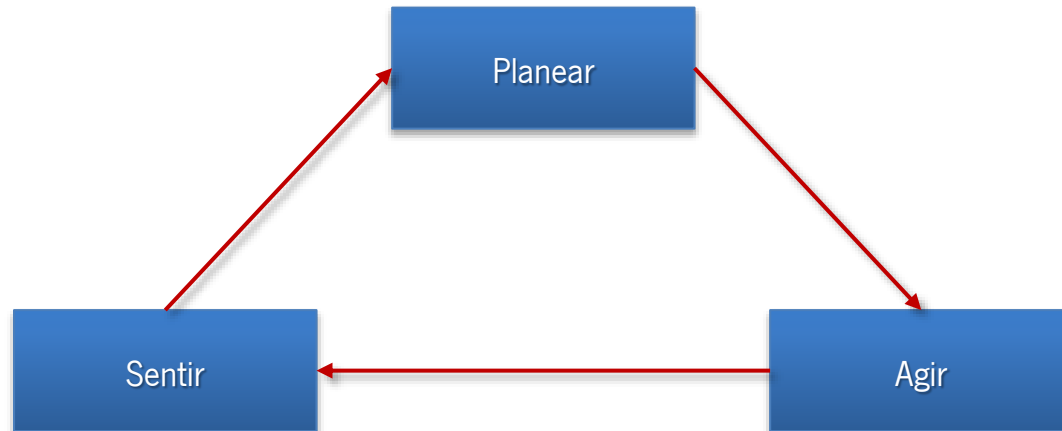
ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Controlo Deliberativa

■ Vantagens:

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

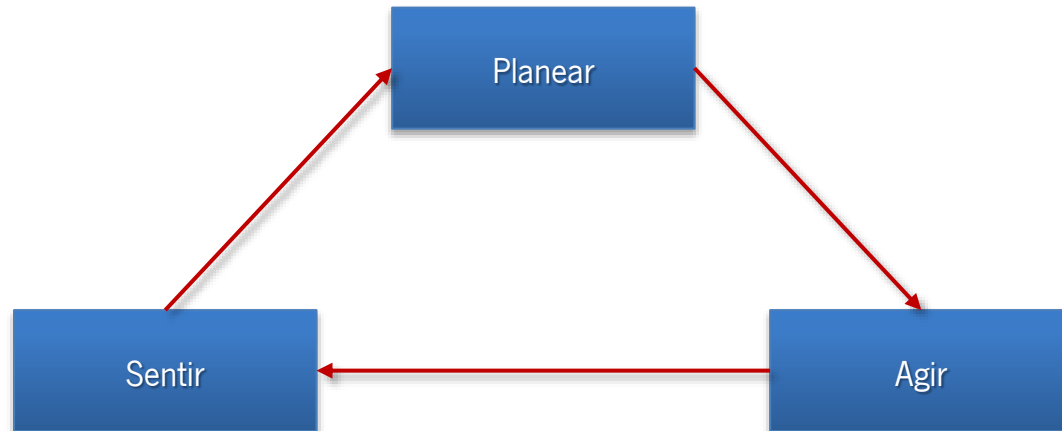




Arquiteturas de Controlo Deliberativa

- Desvantagens:

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

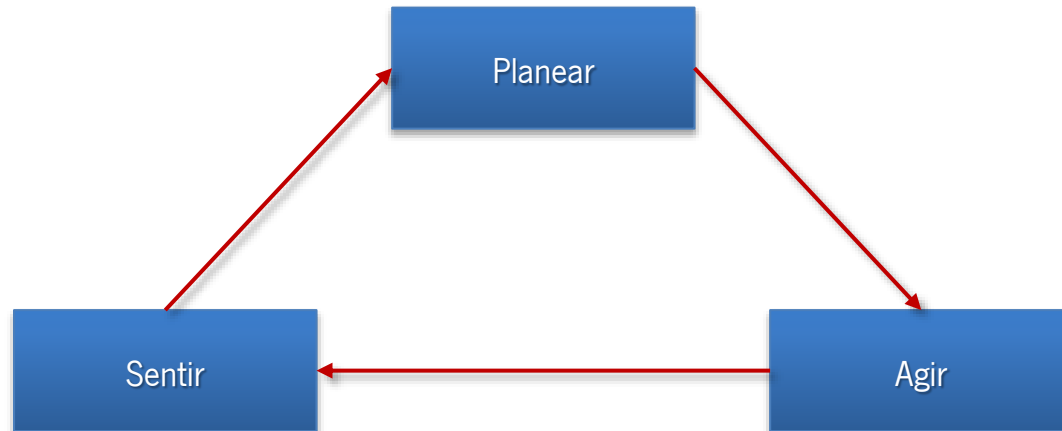




Arquiteturas de Controlo Deliberativa

▪ ROBOCODE:

- planear a trajetória a executar para evitar o choque com as paredes;
- decidir sobre a ação adequada quando o radar deteta um oponente:
 - fugir;
 - apontar arma;
 - disparar imediatamente.



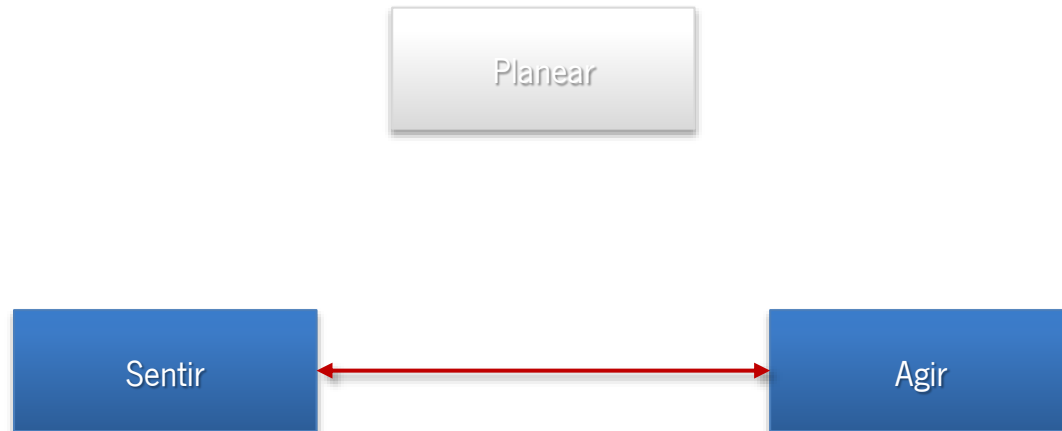


ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Controlo Reativa

- Alcança rápidos tempos de resposta, embebendo o controlo do robô num conjunto de regras condição-ação pré-programadas, e com uma representação mínima do mundo.



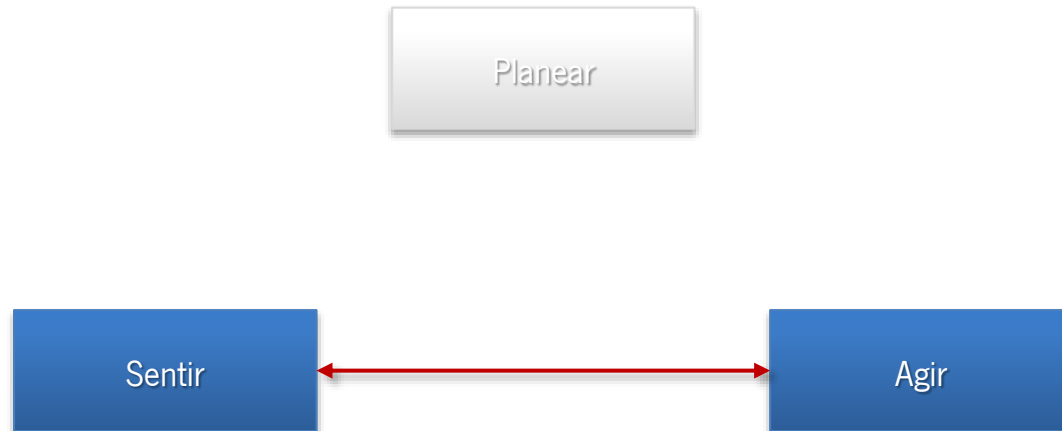


ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Controlo Reativa

- Baseia a sua funcionalidade no princípio da reação a estímulos e na suposição de que um **comportamento inteligente emergirá** da interação com sistemas complexos (e dinâmicos).





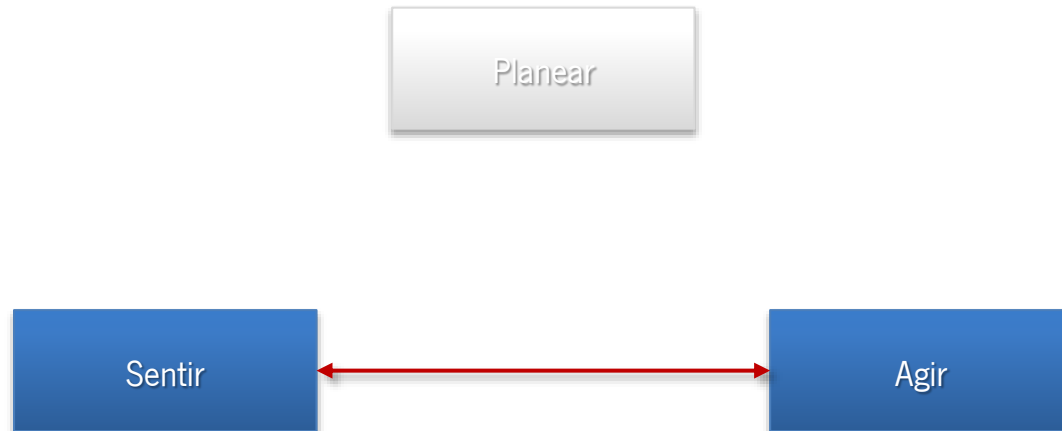
ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Controlo Reativa

▪ ROBOCODE:

- como reagir ao choque com a parede;
- como reagir ao ser atingido por disparo inimigo.

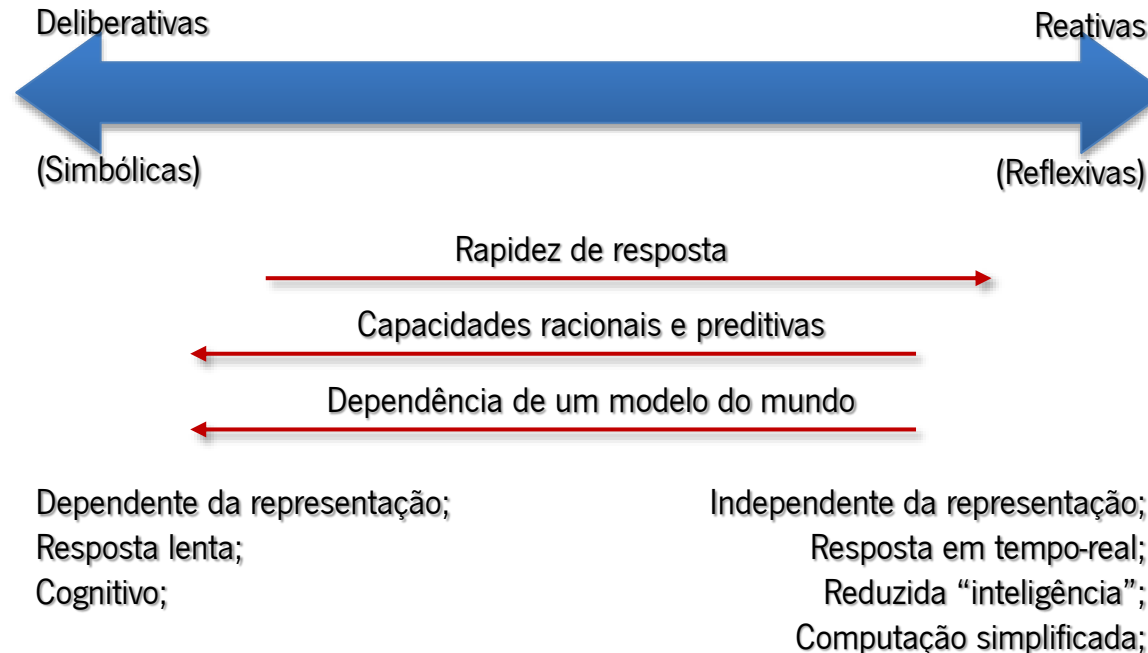




ISLab

Synthetic Intelligence Lab

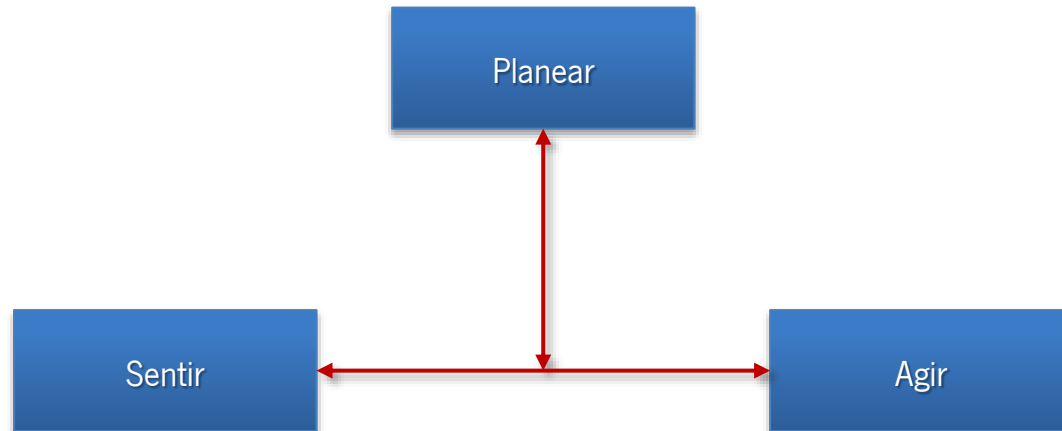
Arquiteturas de Controlo Deliberativa vs Reativa





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.

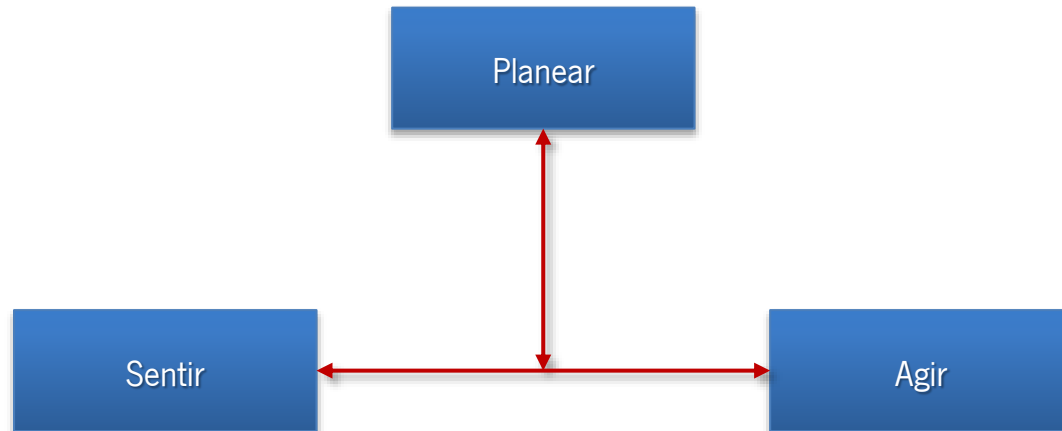




Arquiteturas de Controlo Híbrida

■ 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.

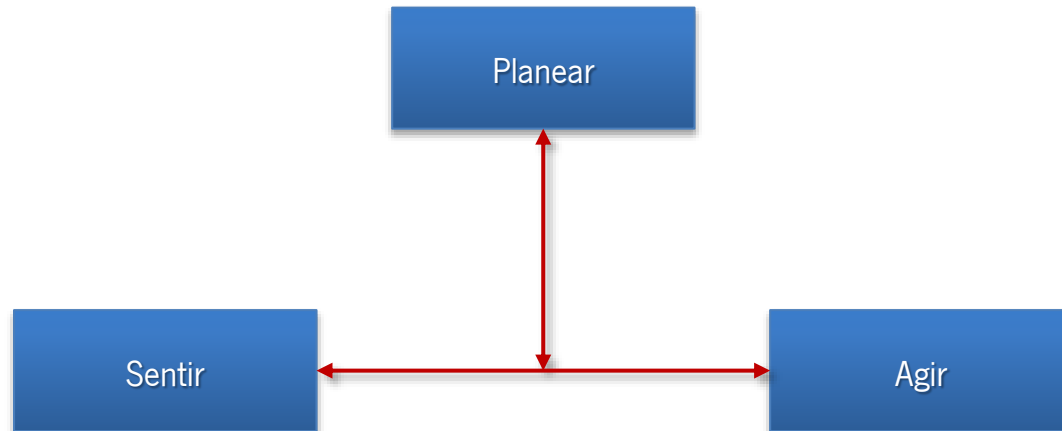




Arquiteturas de Controlo Híbrida

▪ ROBOCODE:

- o que será mais importante:
 - deliberar sobre o momento certo para disparar?
 - reagir ao choque com um oponente?
 - calcular o modo de tiro certo?
 - atuar após tiro adversário?





Arquiteturas de Controlo Comportamental

- De inspiração biológica, procurando mimetizar comportamentos animais na resolução de problemas (complexos);
- Consiste numa coleção de comportamentos cuja finalidade é a de 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;
- São comportamentos típicos:
 - evitar obstáculos;
 - ir para o início;
 - manter velocidade;
- 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.

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

RoboCode

Programação de Robôs

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes



ISLab

Synthetic Intelligence Lab



- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?

Programação RoboCode



ISLab

Synthetic Intelligence Lab



Programação RoboCode

- Que fazer?
 - Programação de robôs;
 - robot, advanced robot, teamrobot, droid;
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
 - Programação de tanques/robôs individuais;
 - Programação de equipas de robôs;
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
 - Que tanques construir?
 - Que comportamentos desenvolver?
 - Desafio 1: desenvolver um odômetro (medir a distância percorrida):
 - Medir a distância percorrida em cada episódio (*round*) de uma batalha (*battle*);
 - Calcular o acumulado das distâncias de todos os episódios;
 - Neste desafio, não há necessidade de combate;
- Como?



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
 - Desafio 1: desenvolver um odômetro (medir a distância percorrida);
 - Desafio 2: trajetória de circum-navegação de 3 obstáculos;
 - Obstáculos identificados como «rockquad»;
 - Início em 30x30;
 - Circular no sentido dos ponteiros do relógio;
 - Circular por fora da área demarcada pelos 3 obstáculos.
- Como?



ISLab

Synthetic Intelligence Lab



- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?
 - Estratégias de controlo;
 - Arquiteturas de controlo;
 - Traçado de rotas/trajetórias.

Programação RoboCode



ISLab

Synthetic Intelligence Lab

Bibliografia

- Choset, Lynch, Hutchinson, Kantor, Burgard, Thrun, “Principles of Robot Motion”, 2005.
- Siegwart and Nourbakhsh, “Autonomous Mobile Robots”, The MIT Press, 2004.
- Ronald Arkin, “Behavior Based Robotics”, The MIT Press, 1998.
- Steven LaValle, “Planning Algorithms”, Cambridge University Press, 2006.

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes