
Sistema de Controlo de Locomoção para Veículos Autónomos Terrestres

António Sérgio Gonçalves

2006

Projecto de fim de curso
Lic. Eng. Electrotécnica –
Electrónica e Computadores
Ramo de Automação e Sistemas

Orientação:

Eng. Alfredo Martins

Eng. José Miguel Almeida

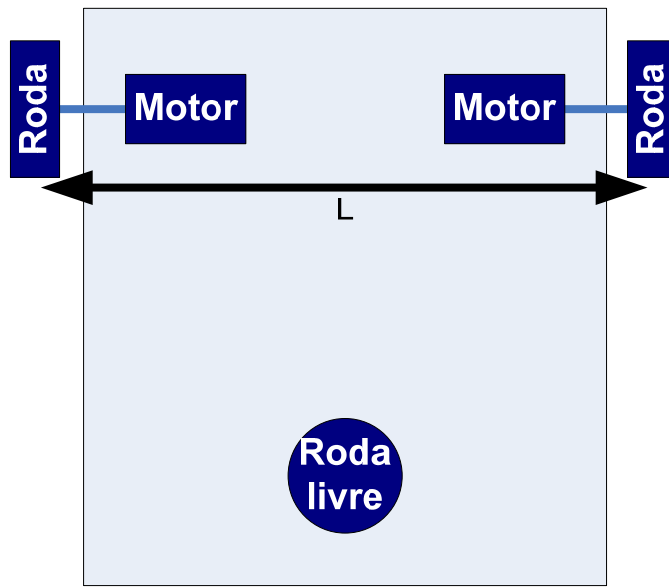
Descrição do Trabalho

- O objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema controlo de locomoção para veículos autónomos
- O sistema de deve disponibilizar várias manobras necessárias para a locomoção do veículo.
- Exemplo demonstrativo - robôs participantes na prova de condução autónoma do Festival Nacional de Robótica (FNR).
- Trabalho desenvolvido no Laboratório de Sistemas Autónomos (LSA-ISEP) – Projecto RUNNER.



Locomoção

- A locomoção é o processo que possibilita que um robô móvel ou veículo se mova.
- Sistema de controlo desenvolvido para veículos com direcção diferencial.



Modelo Cinemático

$$v(t) = \frac{v_{dir}(t) + v_{esq}(t)}{2}$$
$$\omega(t) = \frac{v_{dir}(t) - v_{esq}(t)}{L}$$
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v(t) * \cos(\theta(t)) \\ v(t) * \sin(\theta(t)) \\ \omega(t) \end{bmatrix}$$

Aplicações

- Transporte industrial
 - Limpeza
 - Vigilância e segurança
 - Operações em meios hostis
 - Operações de busca e salvamento
 - Competições de robótica
-

Estado da Arte



Robô Raposa



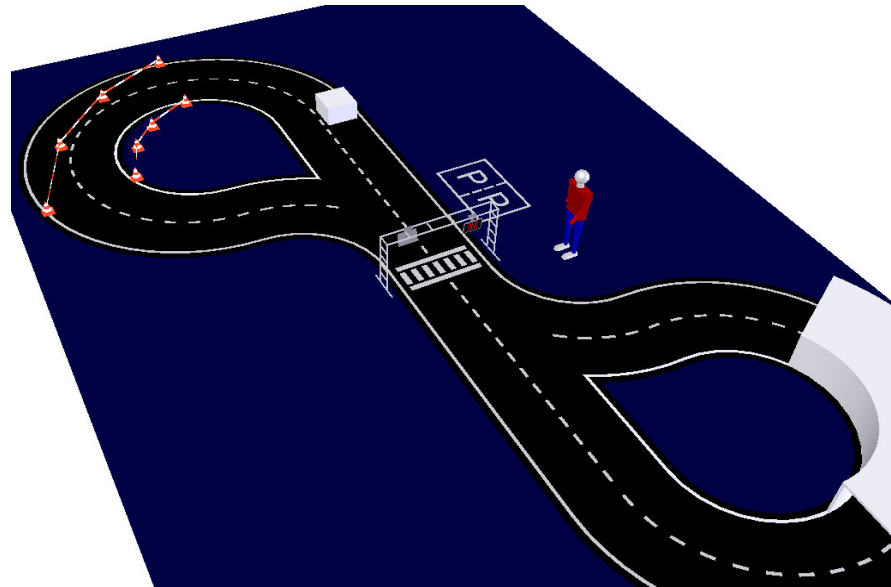
**AGV para transporte de
mercadorias**



Robô Helpmate

Cenário de Validação

- A Pista (Condução Autónoma - FNR)
 - Área de 11x16.4m;
 - Possui o formato de estrada;
 - É delimitada por duas linhas laterais e paralelas;



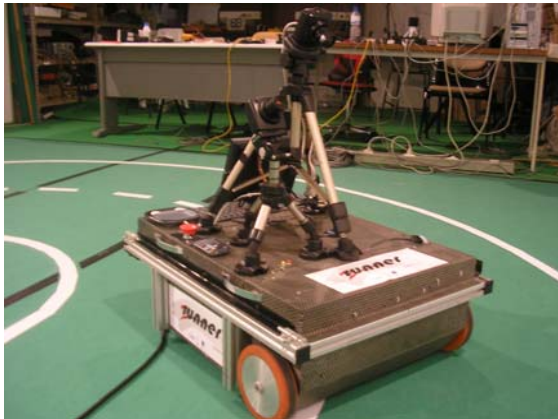
Cenário de Validação

- A Pista (LSA)
 - Espaço limitado - Área de 4,5x11m;
 - Possui o formato de estrada;
 - É delimitada por duas linhas laterais e paralelas;



Cenário de Validação

- Veículos – Projecto “RUNNER”
 - Existem dois robôs;
 - Dimensões limitadas pela largura da pista;
 - Completamente autónomos;
 - Possuem dispositivos de armazenamento de energia.



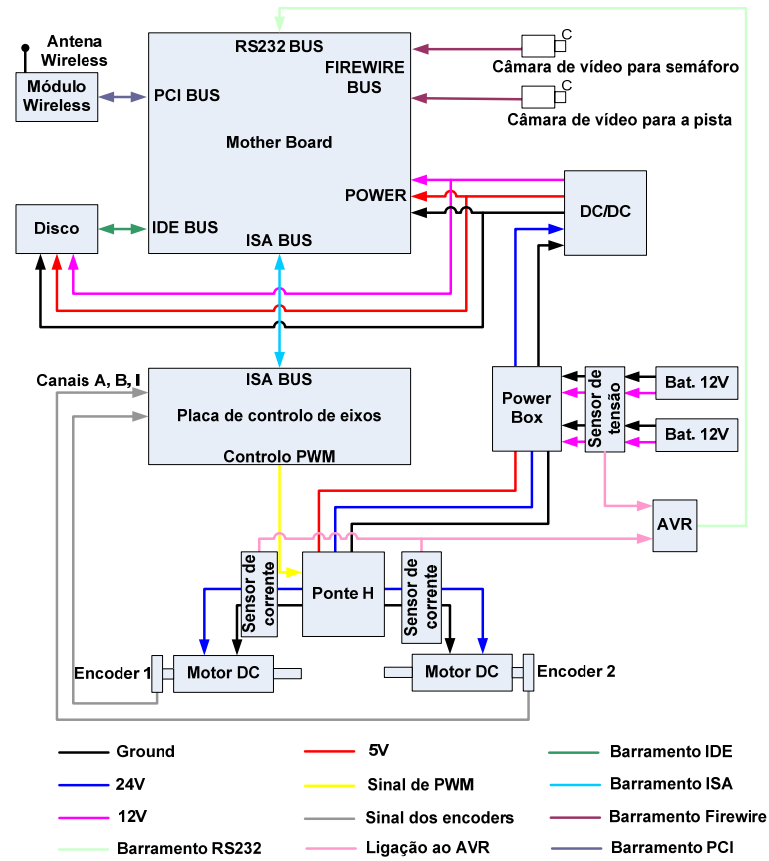
Robô Runner



Robô SpeedWheel

Cenário de Validação

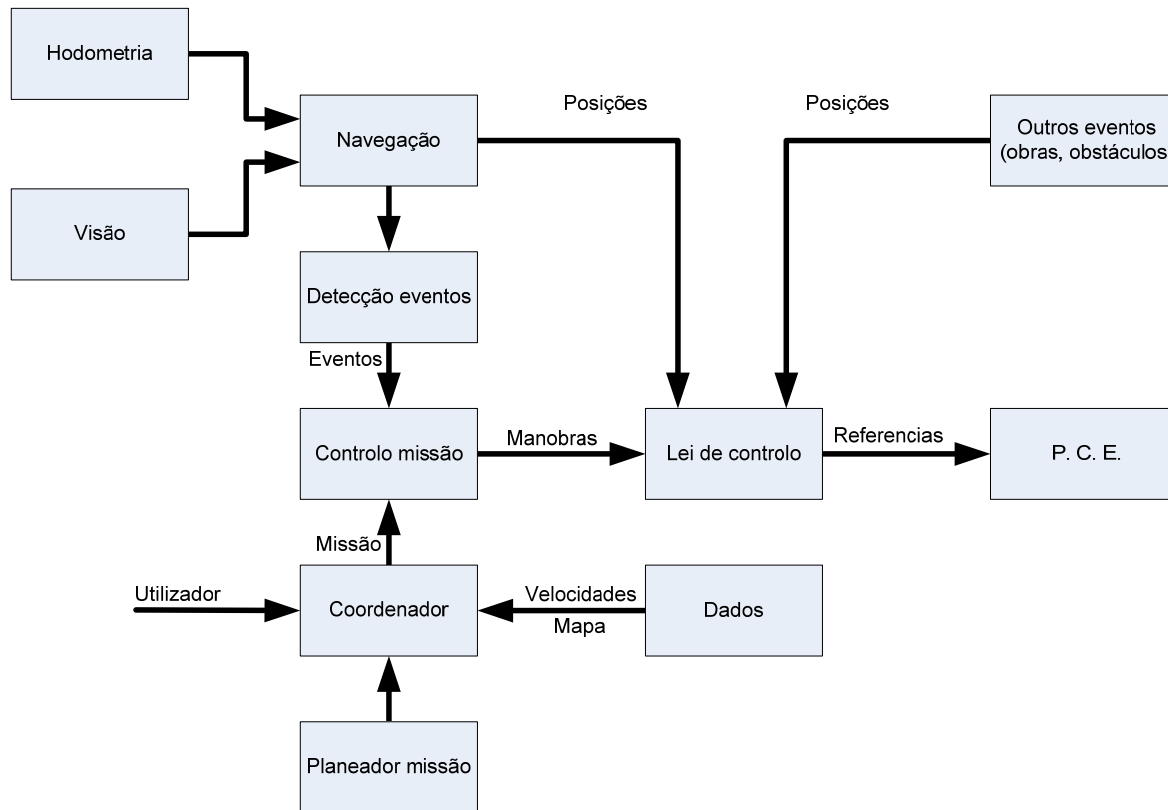
- Veículos
 - Diagrama do hardware



Cenário de Validação

■ Veículos

□ Software modular.



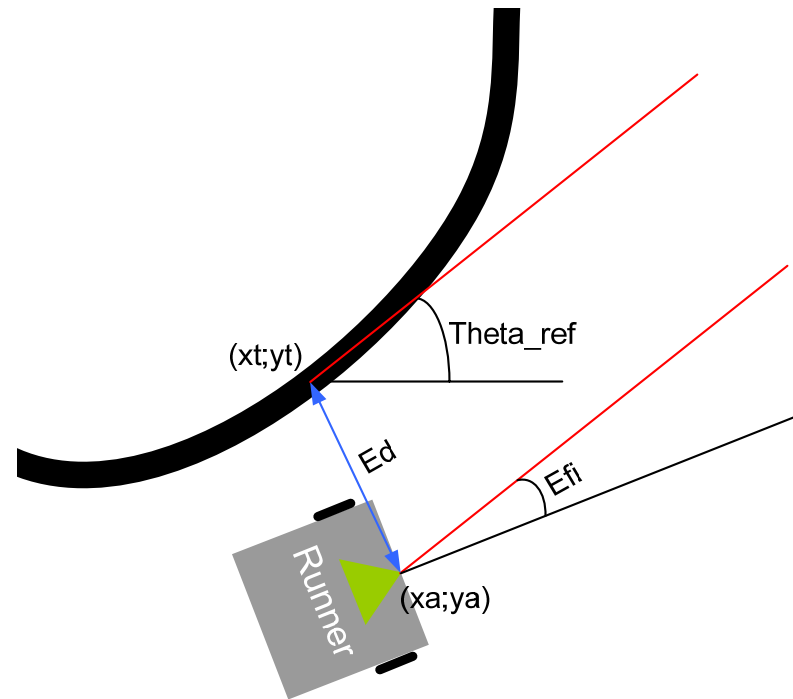
Arquitectura funcional

Controlo

- Tipos de referência
 - “Way-points”
 - Pré-definição de pontos no referencial;
 - Convergência para os pontos;
 - Trajectória indefinida.
 - “Tracking”
 - Pré-definição de trajectórias no referencial;
 - Convergência para as trajectórias;
 - Trajectória definida.
 - “Tracking” é o que mais se adapta ao projecto
 - Trajectória conhecida.
-

Seguimento de trajetórias

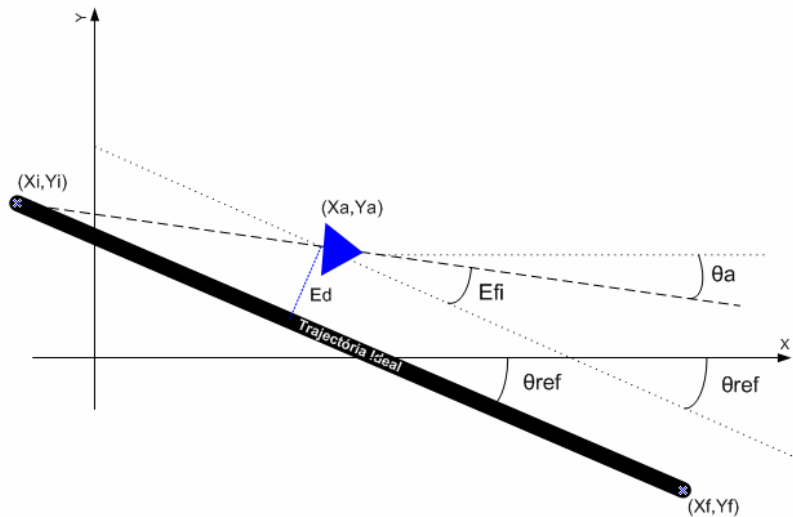
- Orientação tangente à trajetória pretendida
- Correção de erro de orientação (erro em ϕ_i) e de distância à trajetória (erro em d)
- Manobras
 - Recta
 - Curva



Seguimento de trajetórias

■ Recta

- Definida por um ponto inicial (X_i, Y_i) e um ponto final (X_f, Y_f) ;
- Trajetória rectilínea segundo um ângulo de referencia.



$$\theta_{ref} = \arctan\left(\frac{Y_f - Y_i}{X_f - X_i}\right)$$

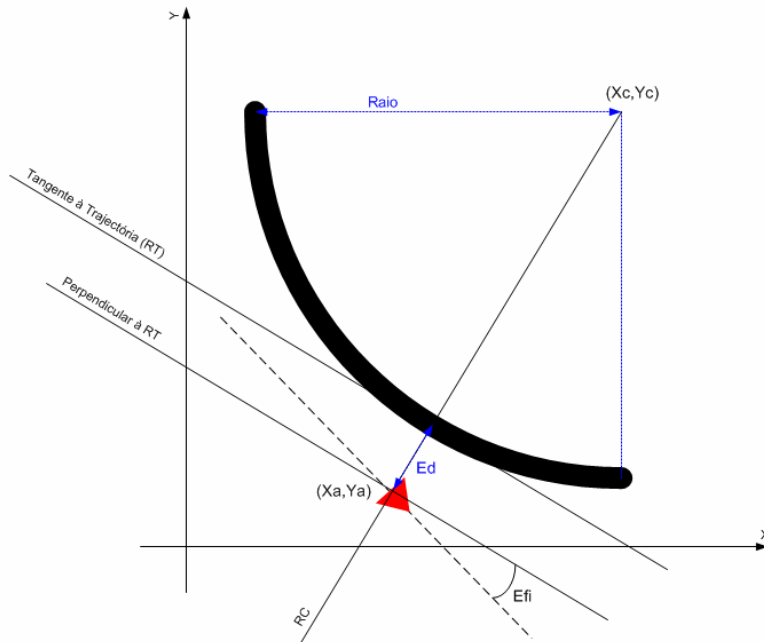
$$Efi = \theta_{REF} - \theta_{ACTUAL}$$

$$Ed = \sqrt{(X_A - X_I)^2 + (Y_A - Y_I)^2} * \sin\left(\theta_{REF} - \arctan\left(\frac{Y_A - Y_I}{X_A - X_I}\right)\right)$$

Seguimento de trajetórias

■ Curva

- Definida por um ponto central (X_c, Y_c) e um raio;
- Possibilidade de sentido horário e anti-horário;



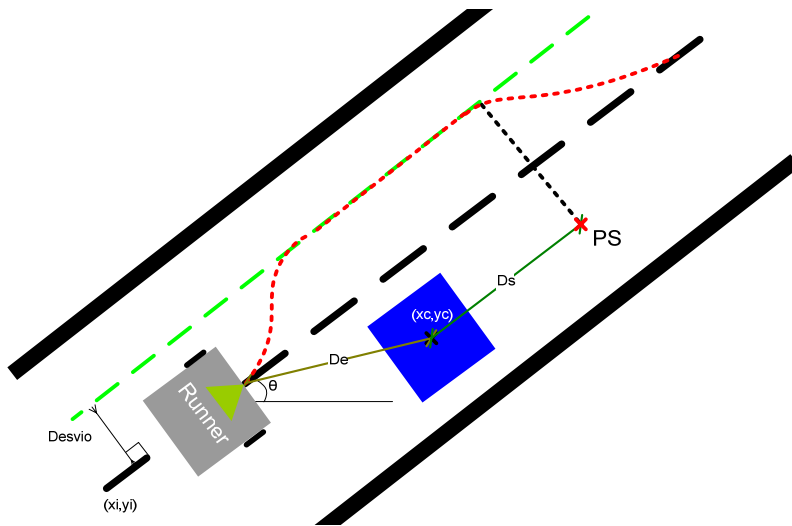
$$\theta_{ref} = \arctan\left(\frac{X_A + X_C}{Y_C - Y_A}\right)$$

$$Efi = \theta_{REF} - \theta_{ACTUAL}$$

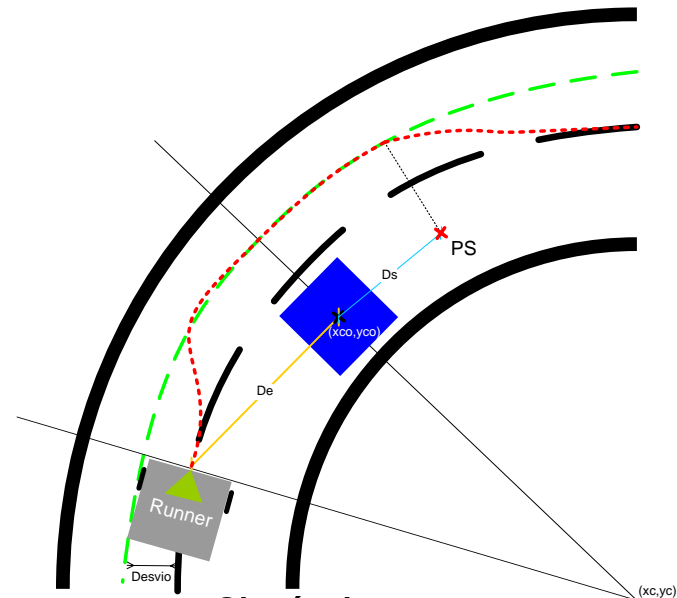
$$Ed = \sqrt{(X_C - X_A)^2 + (Y_C - Y_A)^2} - raio$$

Desvio de obstáculos

- Possibilidade de existência em rectas e curvas
- Necessidade de desviar quando obstáculo se encontra na trajectória
- Parametrização de uma nova trajectória



Obstáculo numa recta

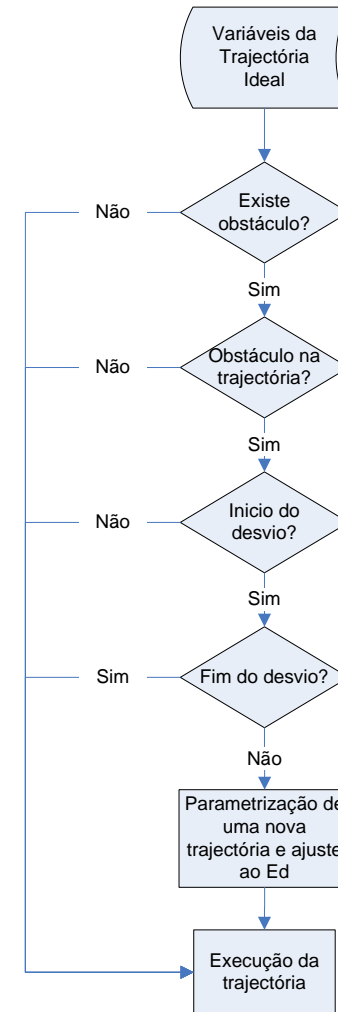
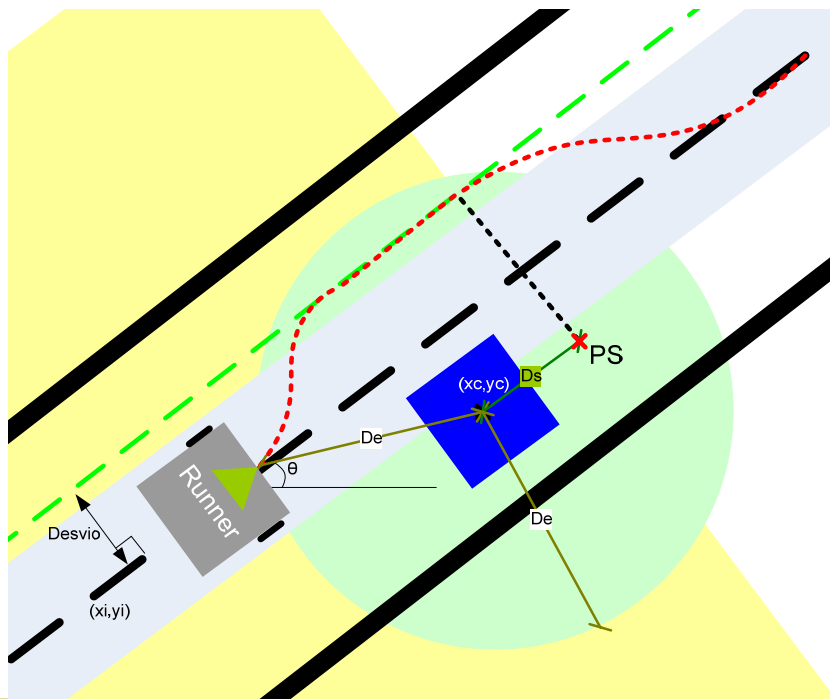


Obstáculo numa curva

Desvio de Obstáculos

■ Testes:

- ❑ Existência de obstáculo;
- ❑ Obstáculo na trajectória;
- ❑ Início do desvio;
- ❑ Fim do desvio.



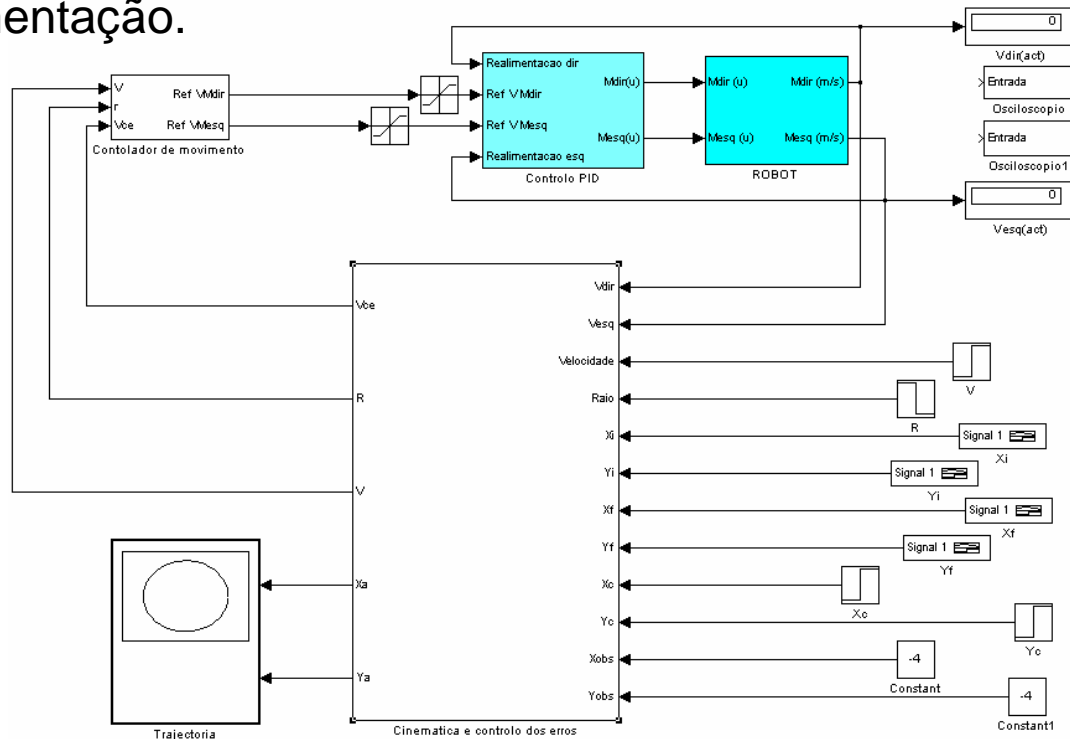
Desvio de Obstáculos

- Parametrização de uma nova trajectória
 - Planeamento feito “online”;
 - **Direcção do desvio (direita ou esquerda);**
 - **Novas variáveis para a manobra.**
 - Ajuste ao Ed (Erro em distância à trajectória)
 - Variável Kdd;
 - Multiplicação por Ed;
 - Veículo mais reactivo no desvio;
 - Convergência para a trajectória parametrizada mais rapidamente.
-

Simulação

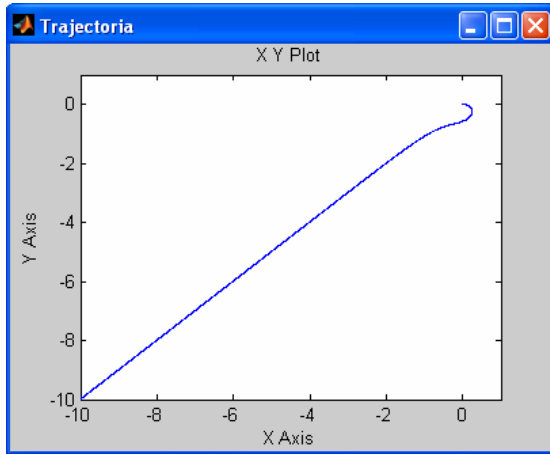
■ “Simulink”

- Controlador desenvolvido para verificar as leis de controlo antes da implementação.

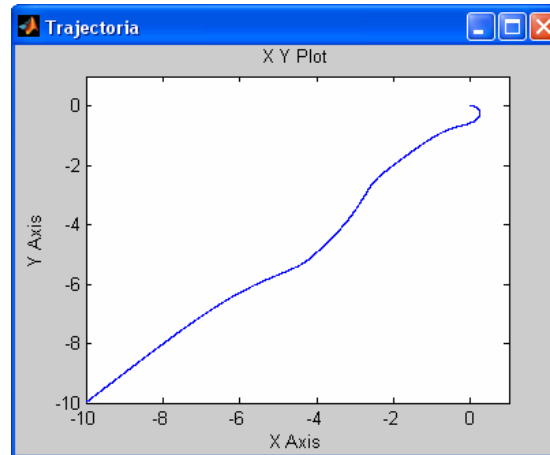


Vista geral dos blocos do controlador

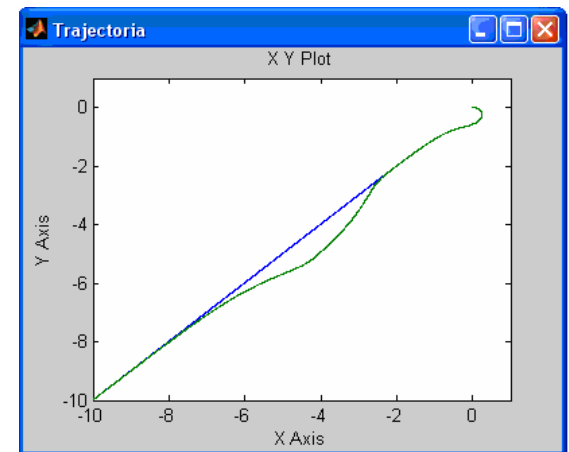
Simulação



Trajectória simulada sem existência de obstáculo



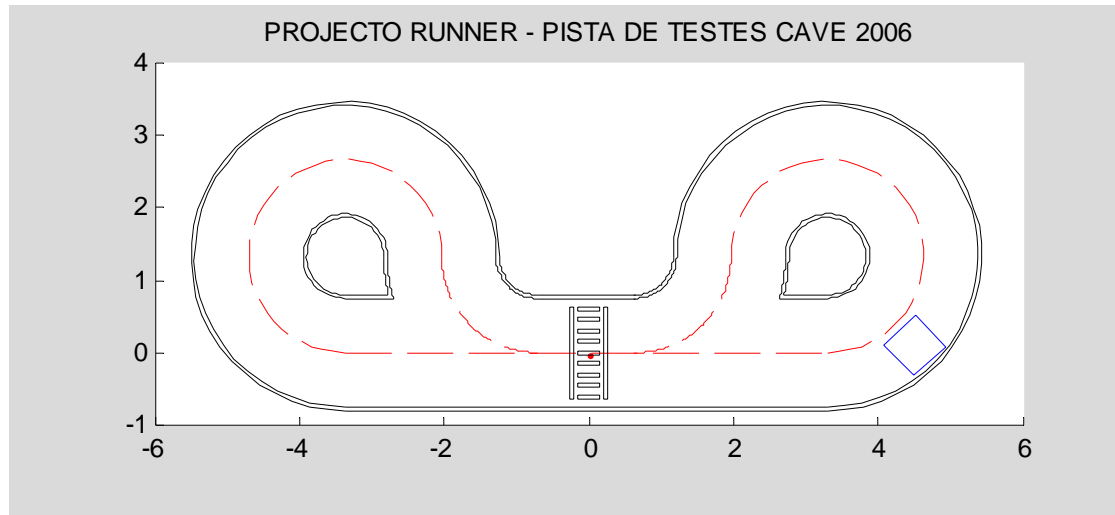
Trajectória simulada com existência de obstáculo



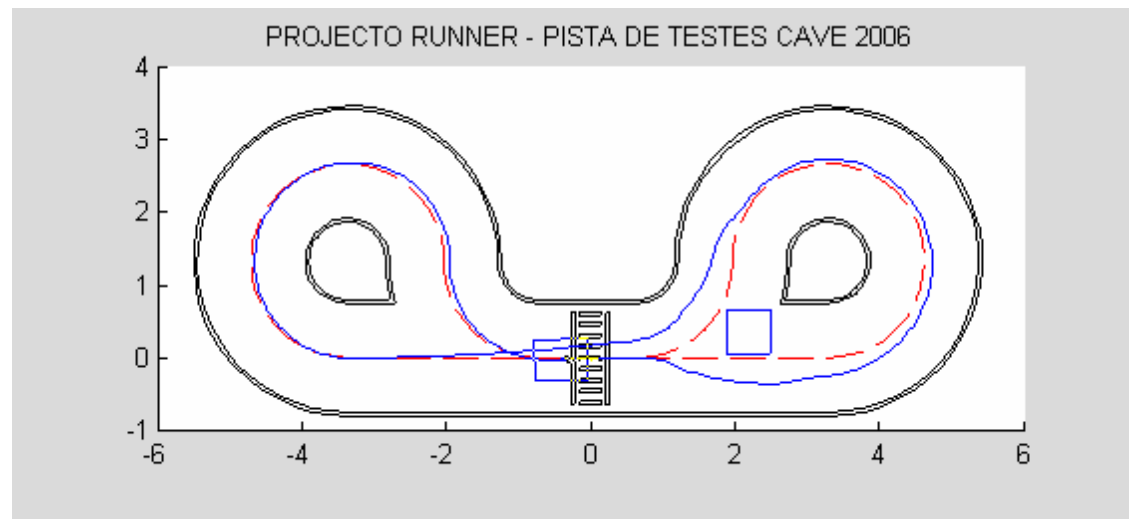
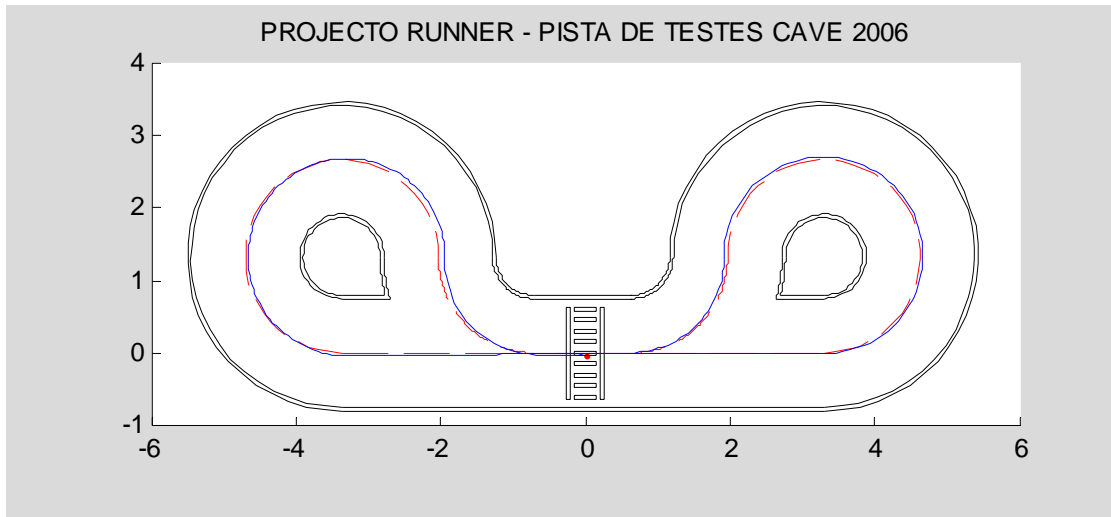
Comparação de trajectórias

Simulação

- “DBG_View”
 - “Toolbox” existente;
 - Alterada para a pista existente no LSA;
 - Adicionada funcionalidade que permite ver a posição do obstáculo.

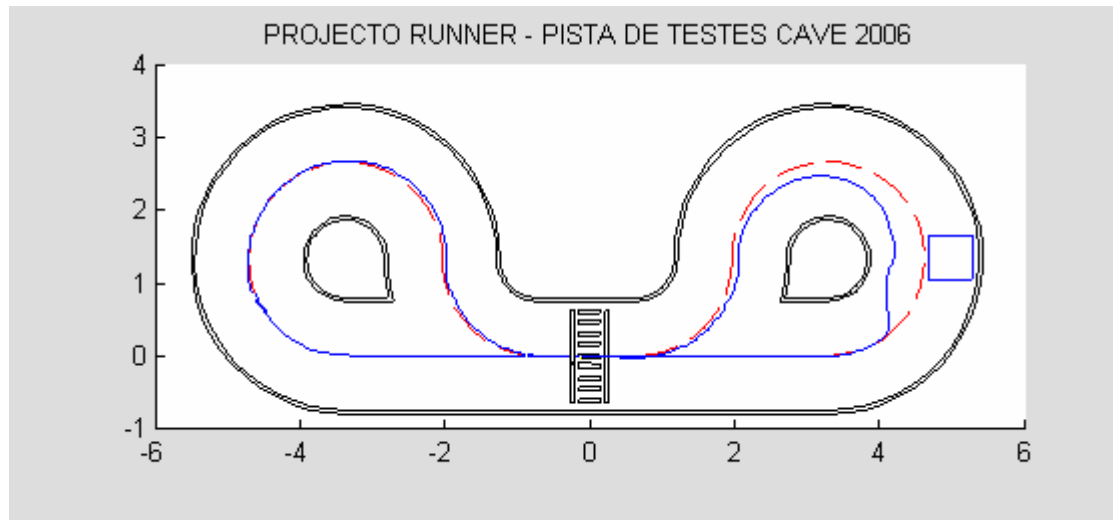


Simulação



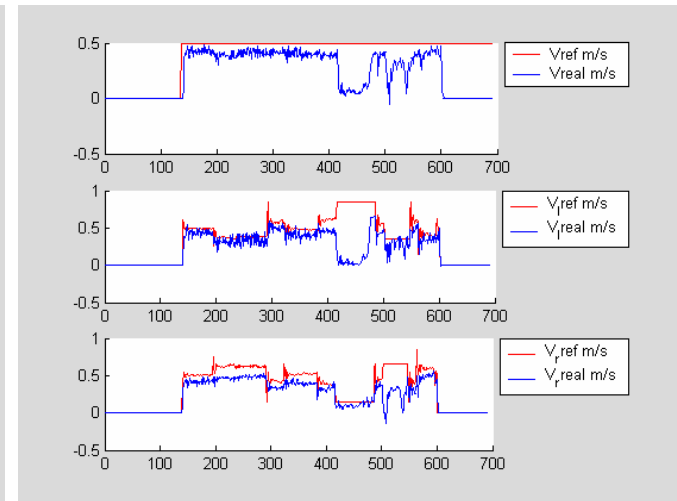
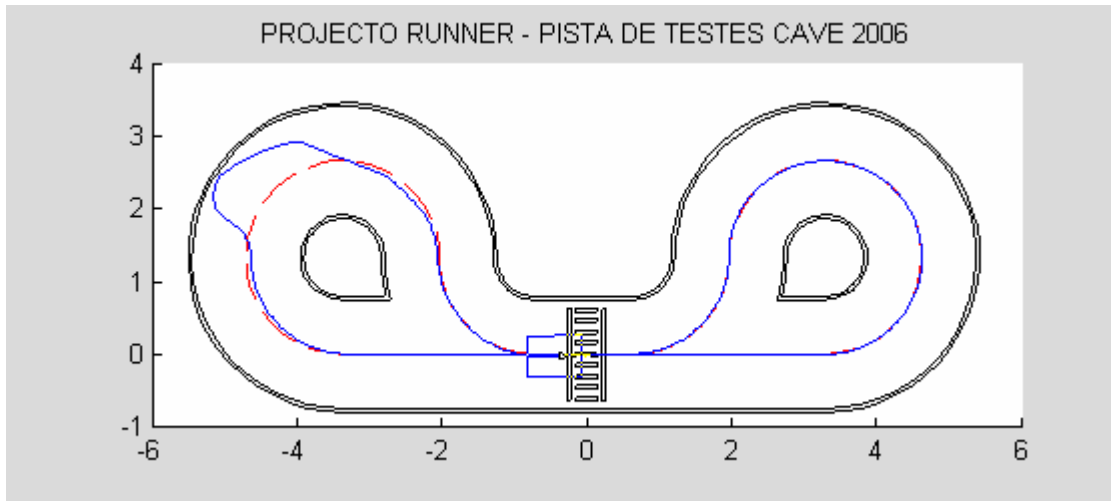
Testes

- Realizados apenas com hometria;
- Impossibilidade de verificar correcções efectuadas pela visão.
- Possibilidade de aplicação de forças externas ao sistema;



Testes

- Aplicação de uma força externa
 - Bloqueio de um dos lados do robô, obrigando-o a desviar-se da trajectória;
 - Verificar a convergência para a trajectória (detecção e correcção de erros).



Conclusões

- Necessário sistema de visão para corrigir erros hodometricos;
 - Tipo de referência (seguimento de trajectórias) é bastante adequado ao problema proposto;
 - Possibilidade de fazer planeamento de trajectórias “online”.
-

Trabalhos Futuros

- Estratégia de controlo capaz de controlar o veículo em zonas de obras (entre os cones de sinalização);
 - Interacção total entre a “toolbox” e o robô;
 - Permitir ver obstáculos e cones de sinalização sem ser necessário alterar ficheiros.
 - “SLAM” (Simultaneous Localisation and Map Building);
 - Robô faria o mapeamento da trajectória através da observação da pista.
 - Andar de marcha-a-trás;
-

FIM

