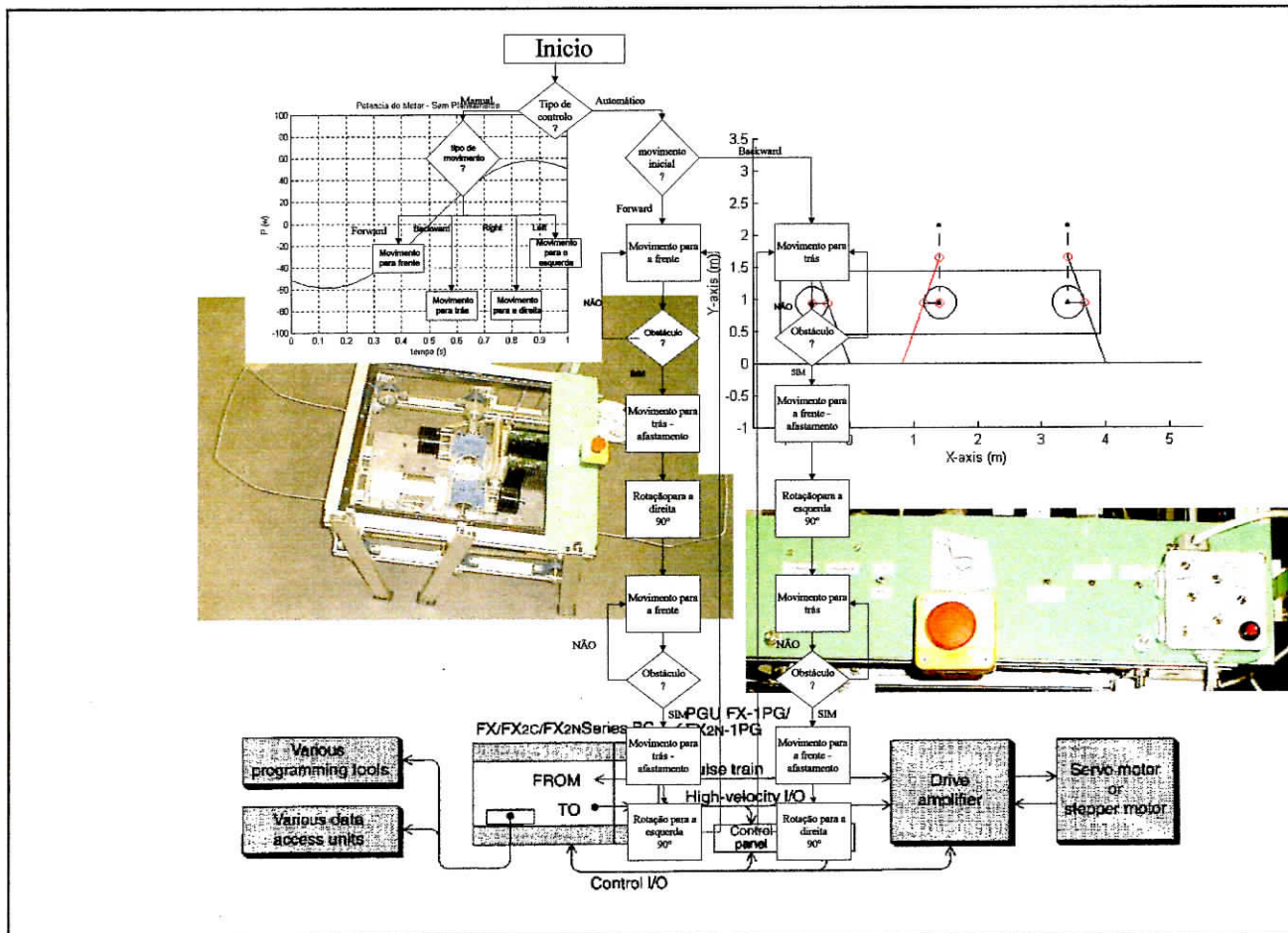


Projecto de Automação
Sensorização e controlo de um robô hexápode



Relatório Síntese

Realizado por:
Rui Mendes



Orientadores:
Prof. Vítor Santos
Prof. Filipe Silva

UNIVERSIDADE DE AVEIRO
11 de Setembro de 2001

Índice	páginas
1.Introdução	1
2.Objectivos	2
3.Especificações do robô hexápode	2
4. Estudo do protótipo inicial	
4.1. Limitações	2
4.2. Capacidades	2
5. Equipamentos	3,4
6. Reformulação do estudo dinâmico	
6.1.Análise cinemática ao movimento da perna	5
6.2. Planeamento da trajectória	6
6.3. Estudo Dinâmico. Equação de Euler-Lagrange	7
6.4.Resultados e Conclusões	8
7. Alterações no estado físico	
7.1. Substituição das pernas	9
7.2. Acoplamento veio/redutor e suporte do motor	10
7.3 Esquema eléctrico	10
8. Sensorização	11
9. Controlo	
9.1 Fluxograma de controlo	12
9.2 Sincronismo e estabilidade	12
9.3. Rotação	13
9.4 Planeamento de trajectória	13
9.5. Controlo dos motores	13,14
10. Conclusão e análise	15

1.Introdução

Este projecto surge como continuidade de um outro desenvolvido no ano lectivo anterior, um robô hexápode com dois graus de liberdade, possuindo os elementos fundamentais para a locomoção e com possibilidade de controlo independente de dois motores, através de um controlador com cartas de eixo.

Todos os equipamentos utilizados são de origem industrial, portanto de fácil obtenção, tornando verdadeiramente interessante o robô hexápode num curso de Eng. Mecânica do ramo de automação, por isso é diferente de todos os outros da mesma categoria.

O estudo inicial detalhado do robô hexápode assume-se de extrema importância, já que é fundamental perceber à partida, quais as suas capacidades e limitações, e também o tipo de movimento e controlo requerido.

A grande limitação do protótipo inicial, era claramente a dificuldade de se movimentar. Os motores instalados (motores AC) não tinham binário suficiente, o elevado peso surge também como uma grande contrariedade para o movimento e manobrabilidade.

A análise cinemática surge com o objectivo de simular o movimento e numa fase posterior se proceder ao dimensionamento dos motores numa análise dinâmica do movimento.

O robô carecia de sensores que permitam a detecção de obstáculos e a percepção de determinadas características no ambiente, assim como de um controlo adequado.

2.Objectivos

- Sensorização de um robô hexápode com vista a sua movimentação tele-operada e autónoma;
- Capacidade para detectar a presença de obstáculos que impeçam o movimento, devendo afastar-se dele e seguir outro caminho;
- Possibilidade de detectar determinadas características no ambiente;
- Estudo e implementação de um controlo adequado;

3.Especificações do robô hexápode

- Sistema com alimentação autónoma (baterias) e controlo autónomo e semi-autónomo (PLC);
- Capacidade de avançar e recuar, e de rodar sobre si próprio;
- Detectar obstáculos e evitá-los;
- O sistema deverá poder aceitar teleoperação via linha série RS232 ou sistema similar ou executar um programa pré-definido;
- Para o sistema proposto é suficiente um número finito e reduzido de velocidades de movimentação.

4.Estado do protótipo inicial

A primeira grande etapa foi analisar fisicamente e tentar perceber quais as reais capacidades e limitações e estudar soluções para a resolução de tais limitações.

4.1 – Limitações

- Impossibilidade de se movimentar (insuficiência dos motores);
- Estrutura demasiado pesada;

4.2. Capacidades

- Possibilidade de movimento, mais tarde verificado através de simulação computacional,
- PLC com boa capacidade e programação e cartas de expansão para controlo de motores passo a passo;

5. Equipamentos

Neste capítulo é apresentado uma breve retrospectiva a todos os componentes eléctricos e mecânicos que se consideram fundamentais, são essencialmente equipamentos de controlo, actuação e transmissão de potência.

• PLC (*Programmable Logical Controller*) e cartas de eixo (PGU)

O PLC (*Programmable Logical Controller*) é do modelo *Mitsubishi FX_{2n} 16MR – DS*, e as cartas *FX_{2n} - 1PG*. São estes dois equipamentos em conjunto os responsáveis pelo controlo de todo o movimento, principalmente o PLC onde é realizada a programação, as PGU's, não menos importantes são usadas para enviar os impulsos determinados pelo PLC às unidades de potência.



Figura N.º1 – Controlador programável e cartas de eixo

• Unidade de potência



Figura N.º2 – Unidade de potência

Equipamento que está em contacto directo com o actuador, recebe a quantidade de impulsos requerida para o controlo dos motores que vêm das cartas de eixo, funcionando como amplificador, de modo a que o motor passo a passo possa executar o movimento requerido.

• Actuador

Elemento responsável pela execução do movimento, é um motor passo a passo. No robô são usados dois, um para as pernas esquerda outro para a direita.

Um controlo independente para cada motor vai permitir numa fase posterior a rotação do robô.

Estes motores têm uma característica importante que é a possibilidade de realizar binário elevado a baixas velocidades, sendo máximo quando está parado. Mais tarde descrever-se-ão pormenorizadamente as potencialidades as destes motores, a nível de controlo e binário.



Figura N.º3 – Actuador, motor passo a passo

• Redutor

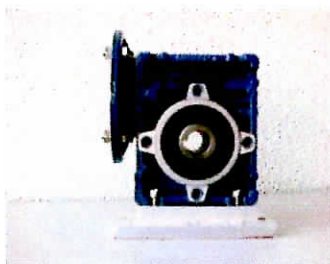


Figura N.º4 – Redutor

Uma vez que os motores não têm binário suficiente para a execução do movimento, é necessário recorrer a redutores para aumentar o binário da actuação.

Estes redutores têm uma relação 1:15.

Trata-se de um redutor com engrenagens de parafuso sem fim/roda de coroa, e o movimento é transmitido em eixos não coplanares. Não é o redutor mais aconselhável, já que prevê uma lubrificação eficaz e tem um rendimento muito inferior a outros com engrenagens paralelas por exemplo.

- Rodas dentadas e correias

O movimento é transmitido à perna central que, por intermédio de rodas dentadas e correias faz mover as outras duas pernas. Há ainda uma série de acessórios usados na transmissão do movimento, como alguns veios e acoplamentos, mas que não são considerados elementos fundamentais.

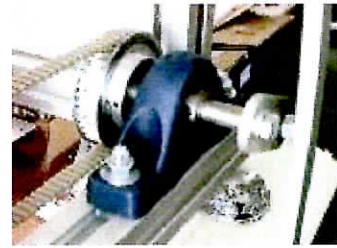


Figura N.º 5 – Roda dentada e correia

- Baterias



Figura N.º 6 – Par de baterias

Dado o robô ser autónomo, é necessário a devida alimentação. Para isso usam-se duas baterias de chumbo Stecco, de 12V com 6500mAH e um recarregador Bradex BX60.

As baterias estão ligadas em série, para se obter os 24V, dispostas em duas caixas independentes.

Com o mesmo par de baterias é alimentado todo o sistema de funcionamento por questão de redução de peso

- Sensores indutivos

A colocação de dois sensores indutivos, estes são colocados na perna central. São elementos fundamentais na sincronização e controlo.

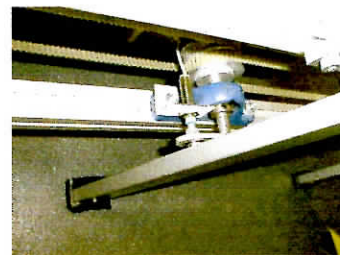


Figura N.º 7 – Sensor indutivo e seu posicionamento

- Detectores fim de curso

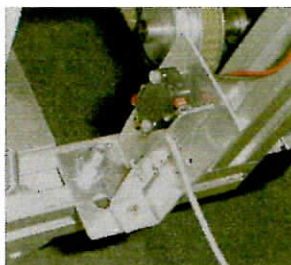


Figura N.º 8 – Detector fim de curso

Os detectores fim de curso visam a detecção de obstáculos na parte da frente e de trás do robô hexápode. São colocados quatro sensores dois em cada zona de detecção.

6. Reformulação do estudo dinâmico

Após a análise do trabalho realizado no ano anterior, foi necessário refazer o estudo dinâmico.

Apresentam-se os passos mais importantes, a análise cinemática, o planeamento da trajectória e finalmente a aplicação da formulação de Euler-Lagrange. Os resultados obtidos em simulação através do MatLab são de extrema importância no dimensionamento dos motores.

5.1. Análise cinemática ao movimento da perna

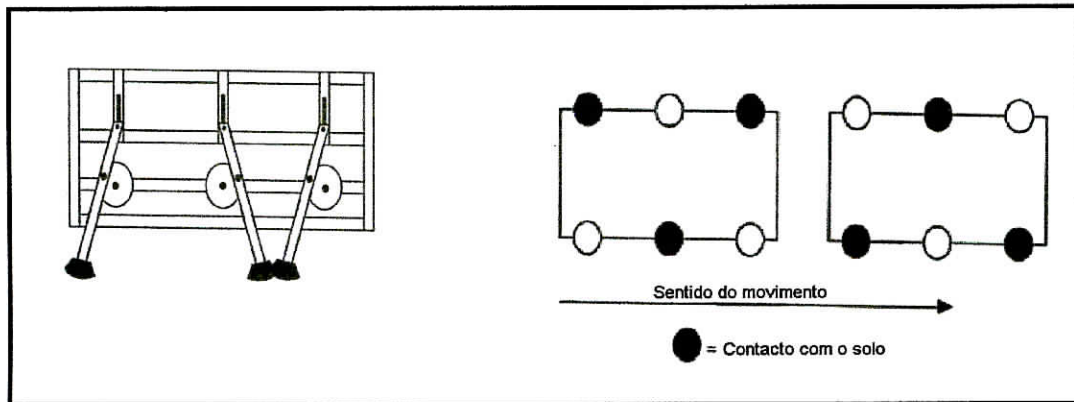


Figura N.º 9 – Movimento efectuado pelo robô

Nas figuras acima encontra-se esquematizado o movimento do robô, onde em cada etapa se deslocam 3 pernas, duas de um lado e uma do outro, garantindo equilíbrio e tracção.

O estudo cinemático é feito para apenas uma perna quando esta está no ar e depois no chão, o movimento é semelhante em todas as outras.

O resultado da análise cinemática é um conjunto de equações de posição para um conjunto de pontos, denominados críticos, em função do ângulo de rotação da junta θ . As vão permitir a simulação do movimento do robô e conseqüente estudo dinâmico.

Pontos críticos

- P_0 - Ponto de acoplamento ao veio transmissor
- P_1 - Ponto de união da perna ao elo transmissor
- P_2 - Ponto de guiamento superior
- P_3 - Extremidade que contacta com o chão

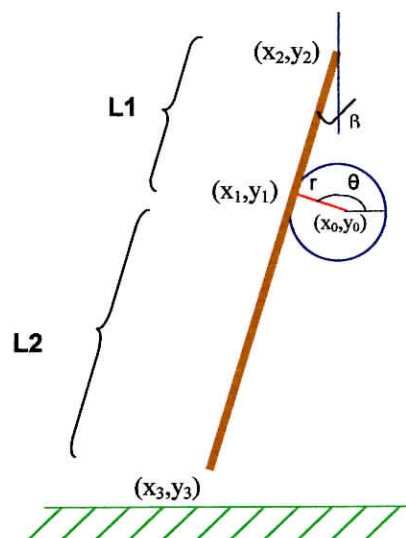


Figura N.º 10 – Esquema da perna

• Equações do movimento (perna no ar)

$$\begin{aligned}
 P_0 & \begin{cases} x_0 = K_x \\ y_0 = K_y \end{cases} \\
 P_1 & \begin{cases} x_1 = r \cos(\theta) \\ y_1 = r \sin(\theta) \end{cases} \\
 P_2 & \begin{cases} x_2 = x_0 \\ y_2 = r \sin(\theta) + L_1 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \\
 P_3 & \begin{cases} x_3 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_3 = r \sin(\theta) + L_1 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} - (L_1 + L_2) \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases}
 \end{aligned}$$

• Equações do movimento (perna no chão)

$$\begin{aligned}
 P_0 & \begin{cases} x_0 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_0 = -r \sin(\theta) + L_2 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_2^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \\
 P_1 & \begin{cases} x_1 = r \cos(\theta) + \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_1 = L_2 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_2^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \\
 P_2 & \begin{cases} x_2 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_2 = (L_1 + L_2) \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \\
 P_3 & \begin{cases} x_3 = 0 \\ y_3 = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

6.2. Planeamento de trajectória

Objectivo do planeamento da trajectória é evitar embates bruscos no solo evitando danos no equipamento, já que o robô vai estar sujeito a um funcionamento bastante dinâmico. Garante-se então um movimento suave dos motores evitando acelerações e desacelerações bruscas nos mesmos, dada a inércia inicial ser elevada, e depois a capacidade de paragem em alta velocidade.

Uma estratégia é definir a variação angular como um polinómio de 3º grau, e estabelecer condições cinemáticas adequadas.

• Polinómio de 3º grau

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3 t$$

• Condições cinemáticas

$$\theta(t_i) = 0$$

$$\theta(t_f) = \pi$$

$$\dot{\theta}(t_i) = 0$$

$$\dot{\theta}(t_f) = 0$$

Manipulando matematicamente as equações anteriores foram calculados os coeficientes para o polinómio de 3º grau, obtendo as seguintes expressões.

$$\theta(t) = 3\pi t^2 - 2\pi t^3$$

$$\dot{\theta}(t) = 6\pi t - 6\pi t^2$$

$$\ddot{\theta}(t) = 6\pi - 12\pi t$$

Estas equações vão ser usadas no programa MatLab. Podemos observar a variação das variáveis angulares (deslocamento, velocidade e aceleração) com planeamento de trajectória, nas figuras seguintes.

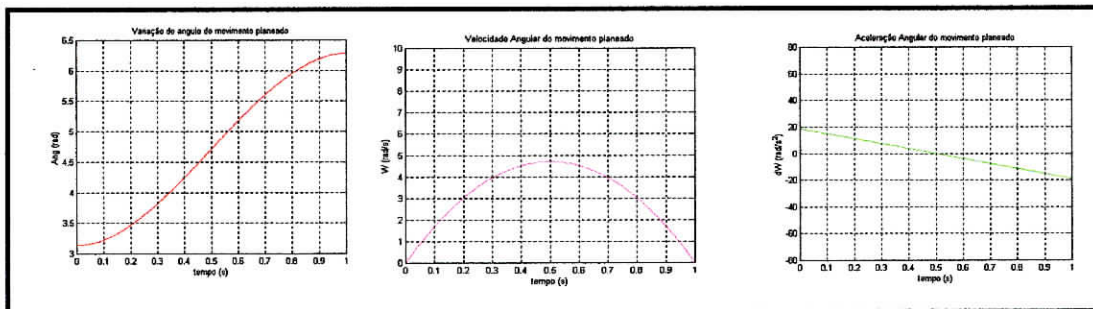


Figura N.º 11 – Variáveis angulares – com planeamento de trajectória

Sem planeamento de trajectória a evolução das mesmas variáveis é a seguinte, aqui a aceleração é nula.

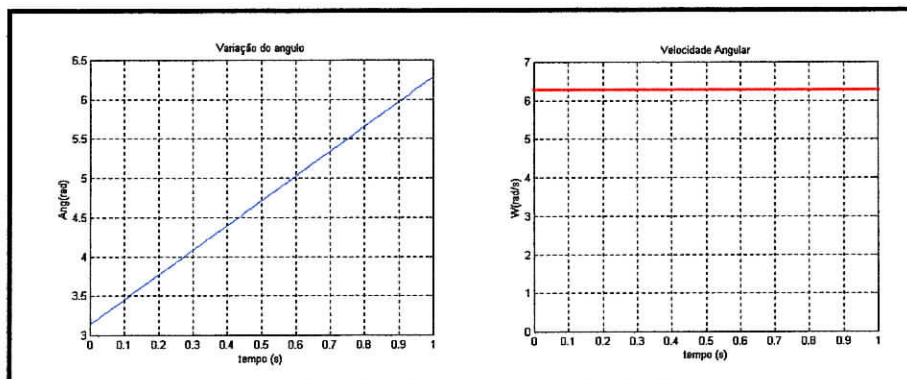


Figura N.º 12 – Variáveis angulares – sem planeamento de trajectória

6.3. Estudo da dinâmica. Equação Euler-Lagrange

A equação E-L é muito usada no estudo dinâmico manipuladores, define a energia total de um sistema (L) como a diferença entre a energia cinética (E_c) e a energia potencial (P). No presente caso a análise é semelhante, um robô móvel com dois graus de liberdade e com uma variável de junta θ , aplicando esta equação vamos obter a equação que define o binário a aplicar na junta para mover a perna.

$$L = E_c - P$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} \\ &= \frac{d}{dt} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial E_c}{\partial \theta} + \frac{\partial P}{\partial \theta} \end{aligned}$$

6.4. Resultados e conclusões

A equação anterior foi aplicada a ambos os estudos, com e sem planeamento de trajectória.

- Com planeamento de trajectória

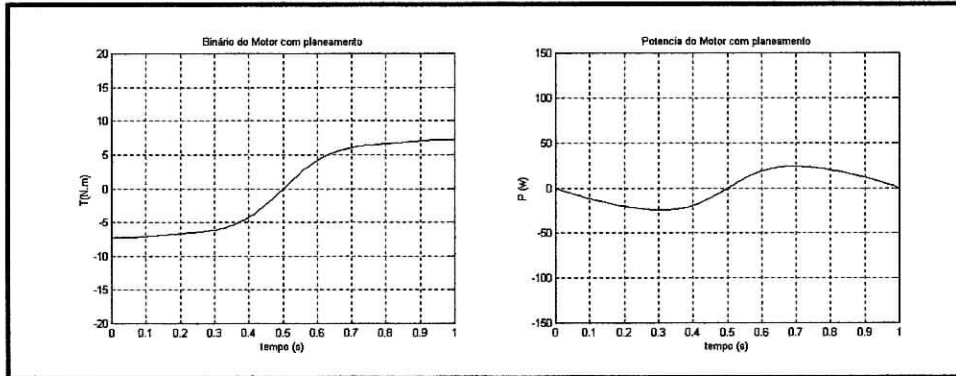


Figura N.º 13 – Binário do motor – sem planeamento

- Sem planeamento de trajectória

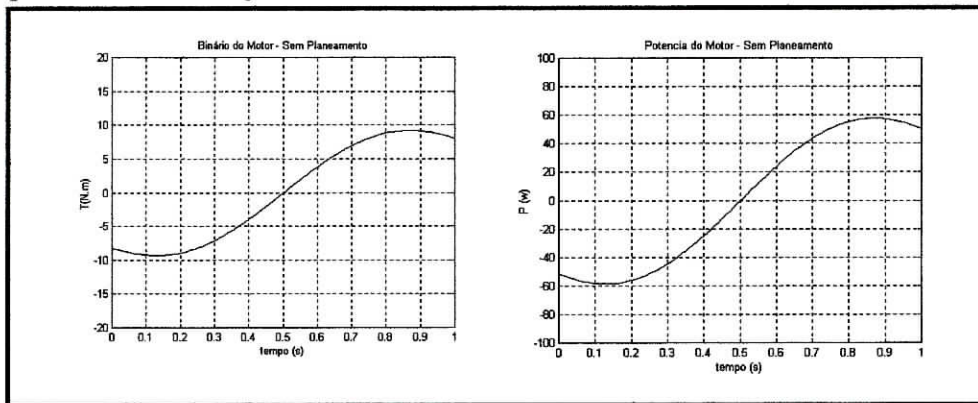


Figura N.º 14 – Binário do motor – com planeamento

Da análise dos gráficos anteriores os resultados que mais interessam são os seguintes:

Binário máximo com planeamento - 7.25N.m

Binário máximo sem planeamento - 9.2N.m

O resultado obtido para o planeamento de trajectória foi usado para a selecção do motor passo a passo e à respectiva unidade de potência.

technical specification	440-420	440-436	440-442	440-458	440-466	440-470
stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-466	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5-1	12	3	2-5
Rated current (A)	0.5	0.18	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1-5	0-58
Inductance (mH)	6	30	9	32	5	2-8
Detent torque (mNm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	500	1200	2200
Step angle accuracy (%)	5	5	5	5	5	5
Step angle	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8
Insulation class	B	B	B	B	B	B
Connector fitted	Y	Y	N	N	N	N
No. of wires	6	6	8	8	8	8

Figura N.º 15 – Especificações técnicas do motor

6.5. Simulação do movimento

O estudo cinemático foi muito importante como foi possível analisar anteriormente, para o dimensionamento do motor. No entanto, numa fase inicial de modo a entender o movimento realizado pelo robô é importante a sua simulação em MatLab. As coordenadas obtidas da análise cinemática foram utilizadas para que esta simulação se realiza-se.

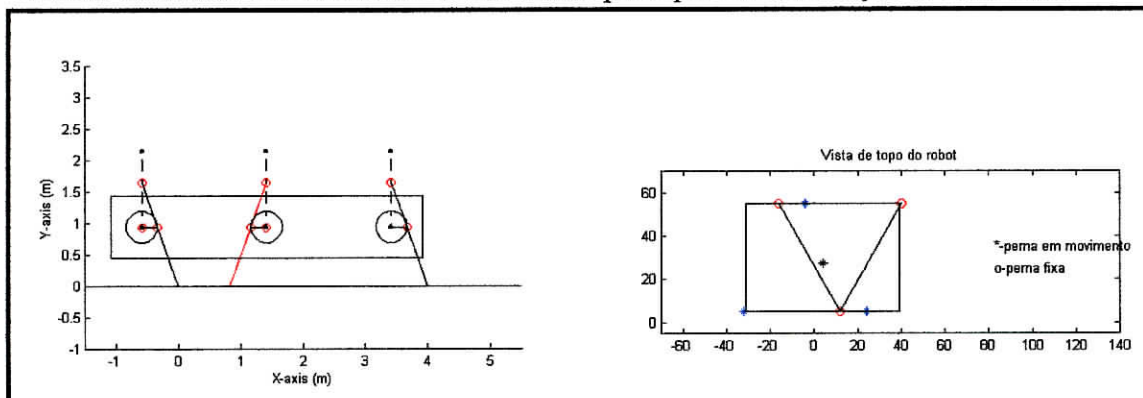


Figura N.º16– Simulação cinemática

7. Alterações no estado físico

Com o decorrer do trabalho houve a necessidade de fazer alguns ajustes no estado físico do robô, uns por introdução de novos equipamentos, essencialmente ao nível eléctrico, motores e unidades de potência, outros com o objectivo de melhorar o seu desempenho e a nível de estabilidade com a introdução de umas pernas novas mais robustas.

Como o peso foi considerado uma das limitações à manobrabilidade do robô, a eliminação de um par de baterias foi uma das soluções encontradas, sem ter de se alterar a estrutura do robô, todavia com implicações no esquema eléctrico inicial. De seguida apresenta-se mais pormenorizadamente a descrição destas alterações.

7.1. Substituição das pernas

Aquando do inicio dos primeiros testes de movimento no solo, verificou-se a que as pernas transmitiam alguma insegurança no movimento, por estarem claramente subdimensionadas. Os esforços de torção que posteriormente são sujeitas, aquando da rotação poderiam danificar seriamente toda a estrutura.

Um aspecto a considerar na instalação das pernas foi, que o ponto de contacto com o solo. É necessário uma geometria adequada e uma área de contacto suficiente, para a possibilidade de deslizamento no movimento de rotação, como se verificará posteriormente.

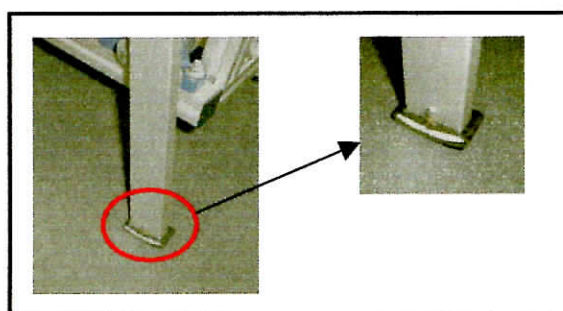


Figura N.º 17 – Perna do robô hexápode

7.2. Acoplamento motor/redutor e suporte do motor

Foi necessário encontrar uma solução para o acoplamento dos motores aos redutores, visto que a relação entre o diâmetro do veio do motor e o furo do redutor era diferente. Quanto ao suporte do motor deve permitir o alinhamento correcto na ligação entre o motor e o redutor para não provocar principalmente esforços de flexão no veio de ligação.

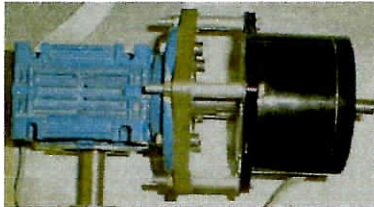


Figura N.º 18 – Acoplamento motor/redutor e suporte do motor

7.3. Alteração no esquema eléctrico

Uma das soluções para aliviar o peso e facilitar o movimento foi suprimir um par de baterias levando a pequenos ajustes na estrutura eléctrica, assim como a colocação do botão de emergência em série com a alimentação do sistema permitindo o corte à alimentação eliminando uma entrada no PLC (*Programmable Logical Controller*).

Alterações mais profundas foram as exigidas pela colocação de uma consola, permitindo duas formas de controlar o robô, de uma forma mais afastada através desta, e junto do próprio robô usando os botões de pressão existentes no painel (*Figura N.º19*).

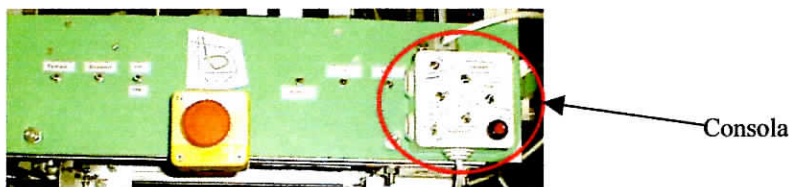


Figura N.º 19 – Painel de controlo e consola

Também a nível eléctrico é importante referir a necessidade de se construir uma interface entre as cartas geradoras de pulsos (PGU), as drives de potência e os motores (*Figura.Nº20*).

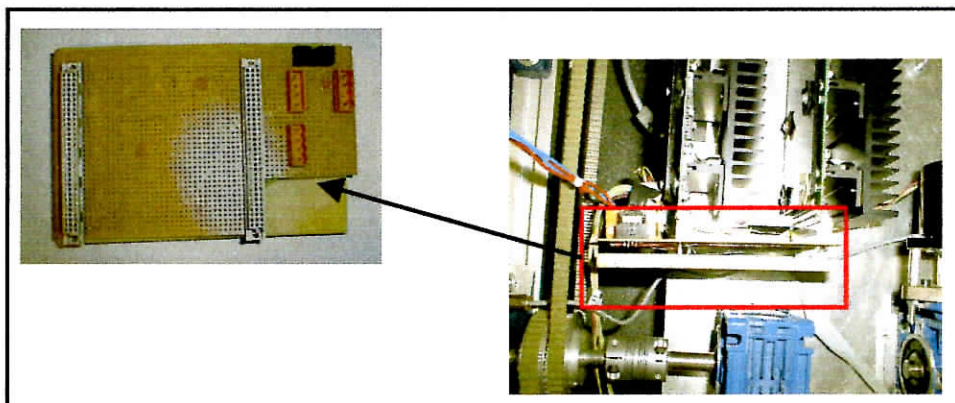


Figura N.º 20 – Interface unidade de potência/motor

8. Sensorização

A sensorização vai permitir essencialmente a detecção dos obstáculos durante o movimento do robô. A detecção só é efectuada quando o robô se desloca para a frente ou para trás, nunca em movimentos rotacionais.

Para a detecção de obstáculos fez-se uso de fins de curso, que são actuados por um, quando este toca num obstáculo (Figura N.º21). Dada as entradas do PLC disponíveis serem limitadas, a percepção de que se o objecto está à frente ou atrás do robô é por software.

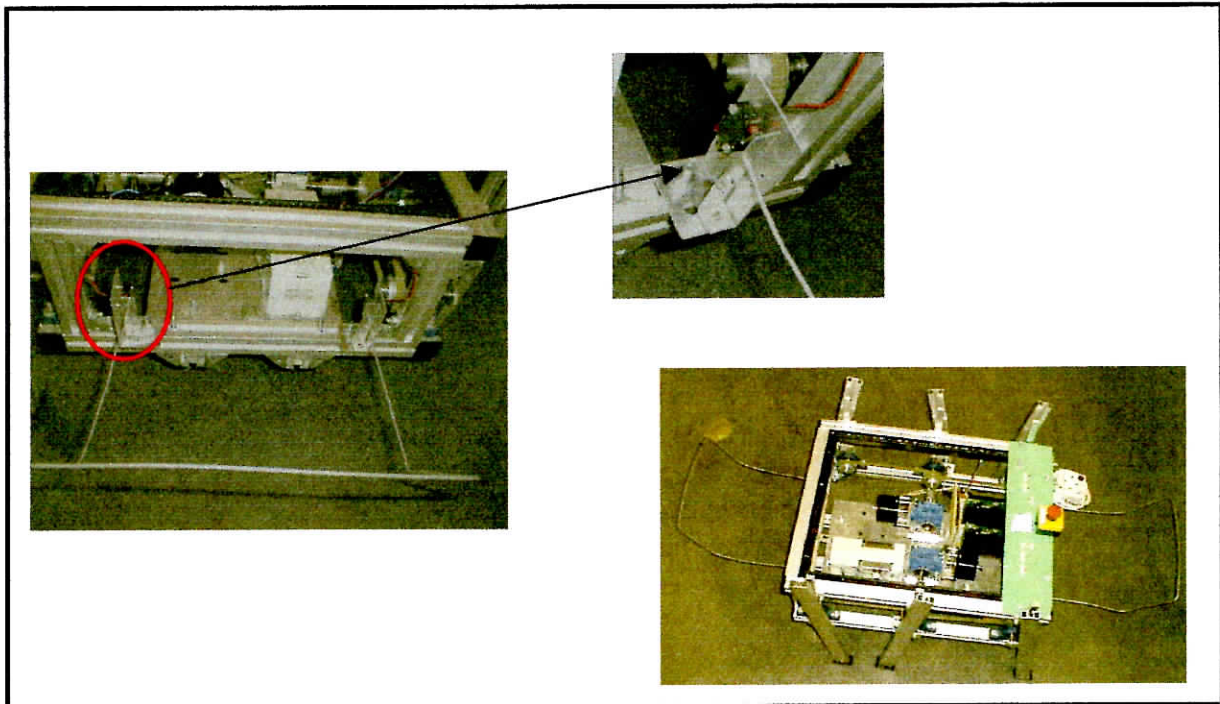


Figura N.º21 – Detectores fim de curso

9. Controlo

O controlo do robô realizado através do PLC (*Programmable Logical Controller*) vai permitir o funcionamento em dois modos diferentes: funcionamento manual e automático. O controlo do robô pode ser efectuada através de uma consola ou directamente no painel de controlo.

A construção da consola veio permitir uma maior versatilidade e comodidade no comando do robô hexápode. Deste modo é possível enviar comandos básicos ao robô: avançar, recuar, rodar à esquerda e rodar para a direita.

Da consola é possível colocar o robô em funcionamento automático, ou seja, ao robô é simplesmente dado um comando de iniciação de movimento e, a partir daí, o comportamento é completamente autónomo, permitindo a detecção de obstáculos.

Os elementos fundamentais de controlo para que o robô hexápode tenha um funcionamento óptimo, são os motores passo a passo, e as cartas de eixo que lhes enviam os pulsos.

9.1. Fluxograma de controlo

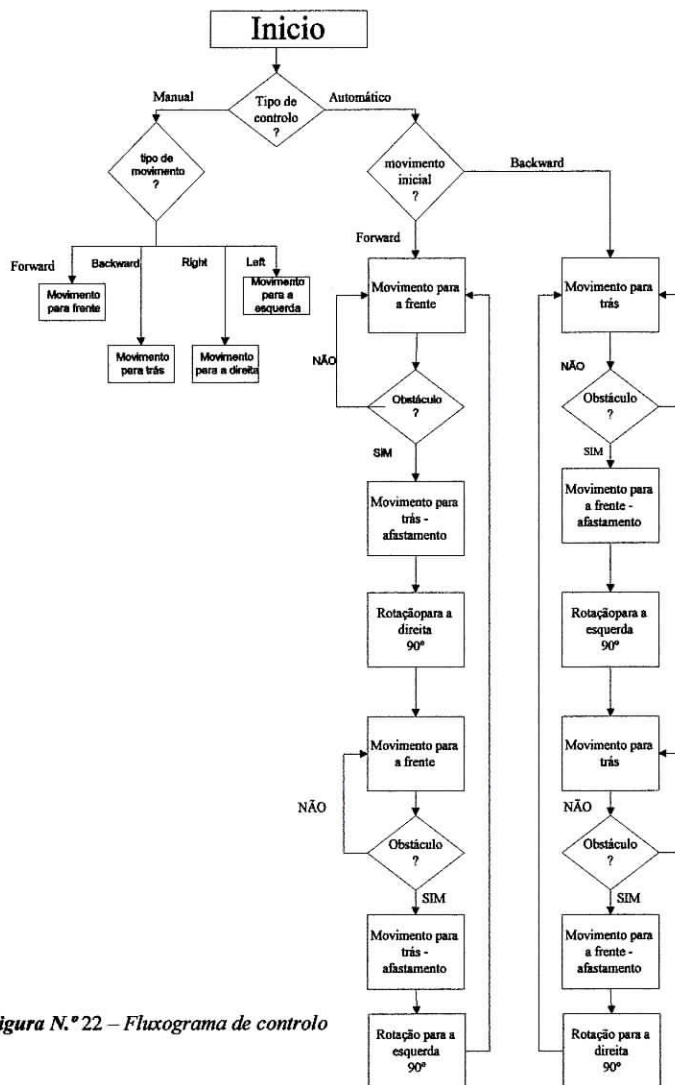


Figura N.º 22 – Fluxograma de controlo

O fluxograma representado na figura nº22 representa o modo como é feito o controlo do robô.

Pode-se optar pelo modo de funcionamento manual e automático. No primeiro caso através de botões de pressão, pode-se impor diferentes direcções ao robô: avançar, recuar, rodar à esquerda e rodar à direita.

Se se colocar em modo automático, há a necessidade de dar uma direcção inicial ao robô, avançar ou recuar. Depois, após a detecção do obstáculo realiza um pequeno afastamento de modo a permitir a rotação.

De salientar a alternância do sentido de rotação sempre que é detectado um obstáculo, tendo por objectivo que o robô circule num circuito fechado.

9.2. Sincronismo e estabilidade

Uma factor muito importante para garantir bom controlo do robô é sincronização do movimento, sem esta o movimento poderia provocar danos graves no equipamento. A solução foi a colocação de dois sensores indutivos, um em cada perna central, podendo ser considerada a posição de equilíbrio do robô. Os motores só deixam de actuar, excepto em caso de emergência, quando se atingir esta posição.

Estes dois sensores garantem sempre que os motores só entrem em funcionamento se as pernas estiverem na posição de sincronização, portanto um não funciona sem o outro.

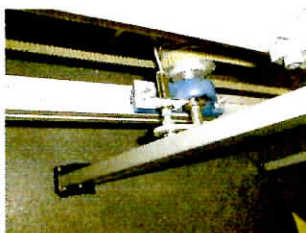


Figura N.º 23 – Sensor indutiva colocado junto da perna central

9.3. Rotação do robô

Uma das mais importantes condições para controlo sobre o robô hexápode era a sua possibilidade de rotação.

Após vários estudos do movimento do robô, através de simulações em modelos, encontrou-se uma solução: as pernas esquerdas sofrem um desfasamento de 180° , para depois dependendo do sentido de rotação que queremos imprimir, actuar os motores provocando o referido movimento, ou seja, os motores devem colocar as pernas em sentidos de rotação opostos.

9.4. Planeamento de trajectória

Como foi referido anteriormente o planeamento de trajectória foi definido por um polinómio de terceiro grau para a variação angular da rotação das pernas.

No entanto na configuração das cartas de eixo existe a possibilidade de definir rampas de aceleração e desaceleração de uma forma suficientemente eficaz.

9.5. Controlo dos motores

O controlo dos motores é muito importante porque são eles os responsáveis pelo movimento, e ter um conhecimento correcto do seu funcionamento e controlo permite um correcto movimento do robô

Estes motores têm características especiais de controlo, são actuadores electromagnéticos que convertem impulsos eléctricos em deslocamentos mecânicos. A cada impulso de comando corresponde um deslocamento incremental bem determinado.

Recebendo de forma correcta a quantidade de impulsos requerida o motor executa o posicionamento desejado.

O controlo dos motores é feito em malha aberta, tendo como principal vantagem a sua simplicidade, mas com um desempenho que fica aquém do máximo desejado.

Deve-se tomar em consideração que a carga, o motor e o circuito de alimentação impõem restrições á evolução temporal dos sinais de controlo. Assim, com base nas características do motor e da carga é importante estabelecer zonas de aceleração e desaceleração com vista a obter um funcionamento adequado, contudo como os parâmetros de carga poderão ser variáveis a realimentação seria a solução ideal.

Um funcionamento em aceleração/desaceleração assume-se como a solução mais eficaz de controlo, em geral o tempo de aceleração é superior ao tempo de desaceleração já que os atritos se opõem ao movimento, isto é tem um efeito que contraria a aceleração.

As cartas de eixo são um acessório fundamental que o controlador possui, são unidades geradoras de impulsos, que fazem um posicionamento simples de um eixo independente, fornecendo uma quantidade de impulsos, que é definida pelo controlador a unidades de potência para os motores passo a passo.

Uma correcta configuração das cartas de eixo é muito importante, definem-se parâmetros muito importantes para o controlo do motor, a definição do tempo de aceleração e desaceleração, a velocidade máxima, o tipo de posicionamento requerido

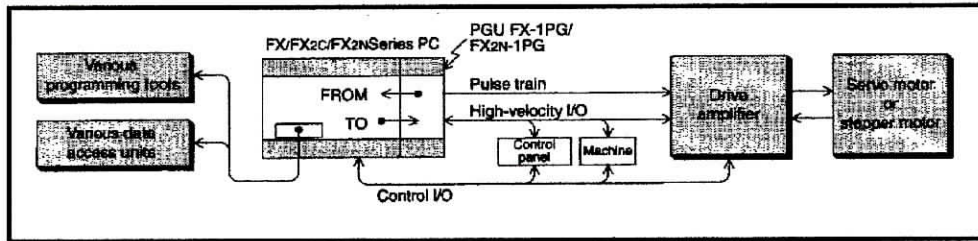


Figura N.º 24 – Comunicação entre componentes de controlo e actuação

Na figura N.º 24 está a forma como se processa a troca de informação entre os equipamentos de controlo e actuação.

10. Conclusão

Terminado o trabalho há a necessidade de fazer um balanço. Atendendo aos objectivos propostos, eles foram atingidos, as dificuldades foram surgindo, mas do mesmo modo se resolveram.

A desorientação inicial é compreensível, dado se iniciar um trabalho onde tudo é desconhecido, desde equipamento usado a modo de funcionamento do robô. À medida que se vai tendo um conhecimento mais profundo, capacidades e limitações, mais claro se vai tornando a estratégia a seguir.

A grande etapa inicial foi a modelação cinemática do movimento do robô, que numa fase posterior ofereceu condições para se realizar o estudo dinâmico de Euler-Lagrange, e a simulação computacional foi o primeiro grande passo para um conhecimento total do robô hexápode.

Depois de dimensionados os motores, a escolha e aquisição destes, assim como, das unidades de potência, é uma fase do projecto que contribui em grande parte para a evolução deste, com estes dois equipamentos estavam preenchidos os requisitos para o funcionamento do robô, os elementos de actuação operacionais.

A sensorização surge numa fase onde se inicia o estudo de um movimento autónomo, era necessário dar capacidade ao robô para a detecção de obstáculos e arranjar uma solução para se afastar dele e contorná-los a solução encontrada não sendo a solução ideal pode ser considerada eficaz.

É então necessário o seu controlo, dar capacidade ao seu “cérebro”, PLC, para tomar decisões e comandar os motores fazendo assim funcionar correctamente o robô. As cartas de eixo como parte integrante do PLC assumem-se como fundamentais já que são responsáveis pelo envio de uma forma correcta e compreensível dos impulsos para as unidades de potência, podendo a sua correcta configuração melhorar claramente o desempenho dos motores e como consequência todo o robô.

A programação do PLC tem de ter em conta vários aspectos, desde o sincronismo que surge como garantia de estabilidade de movimento, até à manobrabilidade e planeamento de trajectória entre outros.

Com o início do movimento foram aparecendo problemas de funcionamento, um dos quais foi a instabilidade que as pernas iniciais, transmitiam ao movimento, a substituição por outras mais robustas foi a solução encontrada.

Surge então a opção de um modo de funcionamento manual e automático, perfeitamente ajustado às características que o robô apresenta, próximo de uma qualquer máquina industrial.

11. Bibliografia

Introduction to Robotics - PMcKerrow, Addison-Wesley, 1993

Manual de programação Mitsubishi – Melsec Medoc Plus, 1999

Pulse Generated Unit – User’s Manual, 1999

Motores passo a passo, controlo e modos de funcionamento –J. ^a Tenreiro Machado, 1995

Electrónica Industrial – James T. Humphries, Leslie P. Sheets – Editorial Paraninfo, 1996