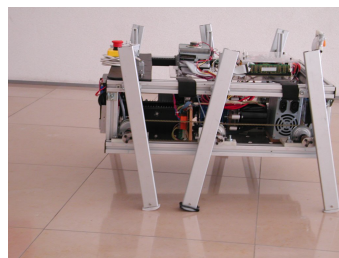
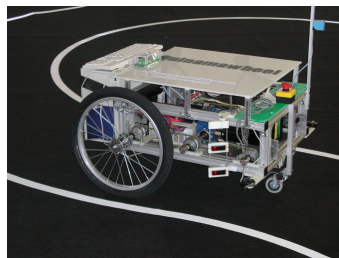
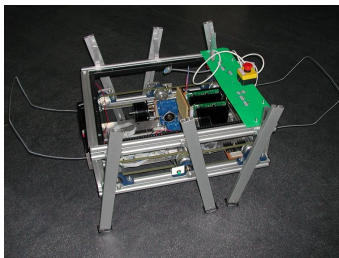


# “Extensão e Optimização do Sistema Robótico MecHex”

PEDRO COSTA MAIA †  
RUI FREITAS FERREIRA ‡

## *Relatório síntese*



Orientadores:

Prof. Dr. Vítor Santos  
Prof. Dr. Filipe Silva



*Projecto de Automação  
Licenciatura em Engenharia Mecânica  
Departamento de Engenharia Mecânica 2001/2002  
Universidade de Aveiro*

† [pedrocostamaia@clix.pt](mailto:pedrocostamaia@clix.pt)  
‡ [rmff@clix.pt](mailto:rmff@clix.pt)

# Índice Geral

<b>1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Pontos possíveis de intervenção .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Extensão de objectivos .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Exploração dos recursos PLC/PGU's.....</b>	<b>4</b>
<b>5. Participação na Exposição “Ciência e Tecnologia” na Exponor .....</b>	<b>5</b>
<b>6. Estudo de uma geometria alternativa de locomoção.....</b>	<b>5</b>
6.1. Introdução .....	5
6.2. Objectivos .....	5
6.3. Concepção do Mecanismo .....	7
6.3.1. <i>Mecanismo e geometria</i> .....	7
6.3.2. <i>Estudo cinemático</i> .....	7
6.3.3. <i>Estudo dinâmico</i> .....	8
6.4 Projecto do Mecanismo .....	8
6.4.1 <i>Seleção das dimensões e geometria</i> .....	8
6.4.2. <i>Cálculo do binário e potência</i> .....	9
6.4.3 <i>Dimensionamento estrutural</i> .....	9
6.5 Comentários.....	10
6.6. Variantes e perspectivas.....	10
<b>7. Participação no Festival Nacional de Robótica “Robótica2002” .....</b>	<b>11</b>
7.1 Projecto e fabrico de componentes mecânicos .....	11
7.2 Sensorização e controlo, <i>hardware</i> e <i>software</i> .....	11
7.3 Comentários.....	13
<b>8. Participação no Fórum Ciência Viva .....</b>	<b>13</b>
8.1. Objectivos da participação.....	13
8.2. Participação.....	14
8.3. Comentários.....	14
<b>9. Sensorização do sistema robótico MechHex .....</b>	<b>14</b>
9.1 Sistema de visão e algoritmo de interpretação.....	15
9.2 Programa PLC com sincronização automática .....	15
9.3 Comunicação PC-PLC .....	16
<b>10. Comentários Finais .....</b>	<b>17</b>
<b>11. Bibliografia .....</b>	<b>18</b>

## Índice Figuras

Figura 1 - Módulo PLC/PGU's .....	4
Figura 2 -Rampa de velocidade gerada pelas PGU's.....	4
Figura 3 - Imagens participação na Feira Ciência, Tecnologia e Inovação.....	5
Figura 4 - Imagem geral do Hexápode.....	5
Figura 5 - Representação da geometria .....	7
Figura 6 - Resumo das trajectórias simuladas.....	8
Figura 7 - Gráficos da potência e binário .....	9
Figura 8 - Resultados da simulação estática.....	10
Figura 9 –Ilustração da variante proposta .....	10
Figura 10 - Desenhos de definição e respectivas peças finais.....	11
Figura 11 - Diagrama geral de funcionamento.....	12
Figura 12 – QuinamaWheel em plena prova.....	12
Figura 13 - Fluxo de informação no algoritmo de controlo .....	12
Figura 14 - Aplicação <i>Simulink</i> e interpretação imagem .....	13
Figura 15 - Imagens capturadas no Fórum Ciência Viva.....	14
Figura 16 - Diagrama de funcionamento da sensorização .....	14
Figura 17 - Indicações gráficas possíveis.....	15
Figura 18 - Sequência no tratamento da imagem.....	15
Figura 19 – Diagrama de funcionamento geral do PLC/PGU's.....	16
Figura 20 - Comunicação PC – <i>MelDDE</i> - PLC .....	16

## 1. Introdução

Os objectivos principais do trabalho proposto consiste na introdução de modificações e adaptações no sistema hexápode de locomoção desenvolvido em trabalhos anteriores, no sentido de o tornar mais versátil e autónomo. As alterações poderão ser quer estruturais, quer na unidade de controlo e sistemas de percepção. Pretende-se dotar o sistema das seguintes propriedades adicionais:

- Capacidade de movimentação em terrenos mais irregulares que o simples plano horizontal.
- Percepção mais completa do ambiente para detecção de propriedades ou características específicas.
- Controlo de movimento mais complexo (velocidades variáveis, controlo de sincronismo nos elementos de locomoção).

## 2. Pontos possíveis de intervenção

Os principais pontos de intervenção previstos foram os seguintes:

- Estudo da viabilidade de sistemas alternativos de movimentação das pernas.
- Substituição/Interligação da unidade de controlo (PLC-PGU's) por um sistema mais versátil baseado na placa-mãe de um PC e adequadas unidades de I/O.
- Introdução de sensorização para detectar e localizar uma linha branca num fundo preto ou outras características simples (visão com WebCam, sensores infravermelhos,...)
- Sistema de controlo mais robusto que permita uma sincronização automática de eventuais disparidades entre o desempenho dos dois motores, bem como a introdução de velocidades variáveis no sistema de locomoção, incluindo planeamento de trajectória para minimizar o efeito dos impactos das pernas no chão.
- Ajuste dos parâmetros de locomoção para permitir um melhor controlo da mudança de direcção através da rotação sobre si próprio e da definição mais adequada do passo de locomoção.

## 3. Extensão de objectivos

A organização do Festival Nacional de Robótica teve lugar, este ano, na Universidade de Aveiro, dada a semelhança do âmbito do nosso projecto no contexto do Festival, decidimos participar na prova de robótica, na classe UIP [1] e no Encontro Científico. Esta extensão ocorreu ainda devido a convites para demonstrações e outros motivos subjacentes á nossa iniciativa.

- Programação dos recursos PLC/PGU's, tendo em vista melhorar o software existente.
- Participação na Exposição "Ciência, Tecnologia e Tecnologia" na Exponor a convite da organização.
- Concepção e Análise de um Sistema Articulado alternativo, para Locomoção Hexápode a dois Graus de Liberdade e sua comparação com o sistema actual .
  - O estudo efectuado proposto como artigo no encontro científico, no âmbito do Festival Nacional de Robótica, tendo sido aceite para publicação e apresentação.
- Participação no Festival Nacional de Robótica "Robótica2002".
  - Sistema alternativo de locomoção por rodas, projecto e construção de órgãos mecânicos de transmissão e de acoplamento aos motores, bem como de suportes dos novos sensores.
  - Utilização de Visão Artificial (*WebCam*) e sensores infravermelho para controlo autónomo da locomoção do robô
  - Elaboração de software de controlo para participação nas provas do "Robótica2002".
  - Controlo em Velocidade dos motores Passo-a-Passo.
- Participação no Fórum "Ciência Viva" a convite da organização.
  - Demonstração do sistema robótico com as duas variantes de locomoção.

- Sensorização e optimização do controlo do robô hexápode.
  - Elaboração de um novo código PLC permitindo paragem de emergência e sincronização automática das pernas.
  - Utilização de um sistema de visão com uma *webcam* e um PC para interpretação de ordens gráficas .
  - Desenvolvimento de um algoritmo de interpretação da imagem, cor forma e orientação.
  - Comunicação entre o PC e o PLC em tempo real.

## 4. Exploração dos recursos PLC/PGU's

Após a análise do trabalho efectuado em anos anteriores, decidiu-se não optimizar ou melhorar o software existente, mas sim iniciar um novo programa, [http#4]. O motivo desta decisão foi devido ao facto do programa anterior estar demasiado complexo e sem qualquer comentário, o que dificultaria o seu melhoramento. O programa desenvolvido este ano assemelha-se ao do ano anterior. Porém tem algumas inovações que permitiu a obtenção de algumas vantagens. Como, por exemplo, a ausência de imobilização dos motores passo-a-passo aquando da inexistência de ordens de comando, o que contribui - significativamente para a maior autonomia das baterias e um menor sobreaquecimento dos motores e respectivas unidades de potência.

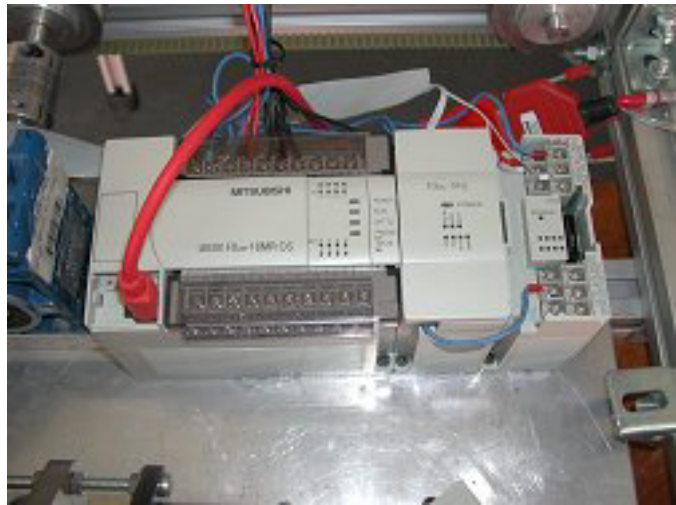


Figura 1 - Módulo PLC/PGU's

Também apresenta vantagens no que diz respeito à mudança de direcção dado que os movimentos de sincronização/dessincronização foram corrigidos de modo a obter-se uma maior amplitude de viragem, permitindo ao robô desviar-se cerca de 90° após a detecção de um objecto com a direcção de desvio escolhida de um modo aleatório.

Outra diferença consistiu em separar os sensores de obstáculos de modo a actuarem separadamente consoante o sentido do movimento.

Para a sincronização das pernas foram utilizadas funções de comunicação PLC-PGU indicando a posição angular dos motores, embora esta posição fosse não confirmada após o comando, visto a ausência de *Encoders*. Foi também revista a parametrização das cartas de pulsos tendo em vista a sua optimização em termos de velocidade e acelerações. Nomeadamente, utilizou-se o parâmetro correspondente ao tempo de aceleração-desaceleração por forma a ser minimizado o efeito do impacto das pernas no solo através de velocidades variáveis, sendo efectuada a inicialização e a finalização do passo com velocidade zero, Figura 2.

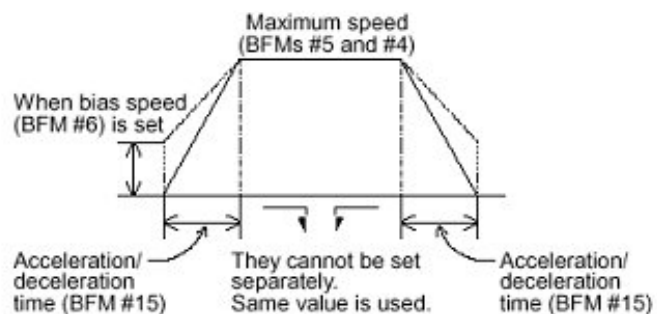
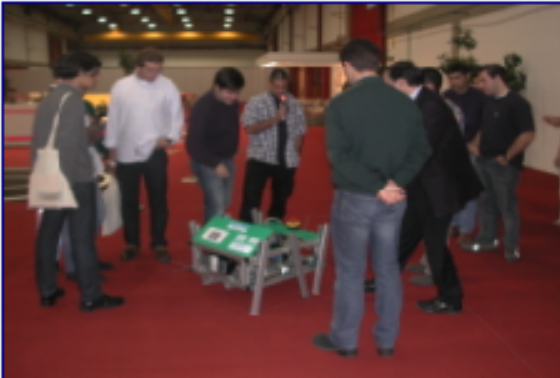


Figura 2 - Rampa de velocidade gerada pelas PGU's

## 5. Participação na Exposição “Ciência e Tecnologia” na Exponor

A convite da Exponor, o robô Hexápode esteve em demonstração na Feira Ciência, Tecnologia e Inovação, na Exponor em Matosinhos. Houve uma grande receptividade do conceito hexápode por parte dos visitantes. Nesta altura, Novembro 2001, o robô movia-se para trás e frente, detectava obstáculos e desviava-se deles.



**Figura 3 - Imagens participação na Feira Ciência, Tecnologia e Inovação**

## 6. Estudo de uma geometria alternativa de locomoção

### 6.1. Introdução

O crescente interesse pelos sistemas de locomoção com pernas tem justificação pela sua superior mobilidade em terrenos irregulares, permitindo a transposição de obstáculos, o que representa a diferença principal face ao sistema de locomoção convencional. Uma configuração hexápode é uma solução de locomoção com pernas, pois permite a completa estabilidade durante o movimento. Uma locomoção com pernas e apenas dois graus de liberdade, aliado a mecanismos de locomoção articulados afigura-se como uma opção de custo e complexidade de controlo reduzidos, face às possibilidades de locomoção proporcionadas.



**Figura 4 - Imagem geral do Hexápode**

### 6.2. Objectivos

Comparativamente ao sistema actual, este estudo visa, definir uma geometria do passo de forma a resultar numa trajectória da extremidade da perna. Que aumente a altura de transposição de obstáculos, que diminua o comprimento do passo de forma a melhorar a manobrabilidade, a diminuição do peso e melhorar a eficiência mecânica, essencialmente através da redução de atritos. Por fim deve-se avaliar esta solução quanto aos valores máximos de binário através da análise da amplitude da oscilação vertical, que deverá ser mínima para diminuir o consumo energético durante a locomoção, em virtude da variação da energia potencial.



## 6.3. Concepção do Mecanismo

### 6.3.1. Mecanismo e geometria

O mecanismo em estudo propõe variar a geometria do elemento de locomoção (perna). A nova geometria, proposta como alternativa à existente, consiste numa ligação articulada de quatro elos [5], [6] e [7] como se pode ver na

Figura 5. Uma geometria desta natureza, através da variação do comprimento dos diversos elos e do lugar dos pontos de fixação, permite uma grande diversidade de configurações de movimentação e, conseqüentemente, de tipos de passos gerados. Caracteriza-se também pela não existência de juntas lineares. Nesta geometria o elemento rotativo é o elo  $r_2$ , onde é aplicado o binário, e o elemento  $r_4$  oscila angularmente com uma amplitude específica, o ponto de contacto com o solo é T, e os pontos O e P estão fixos na estrutura do robô.

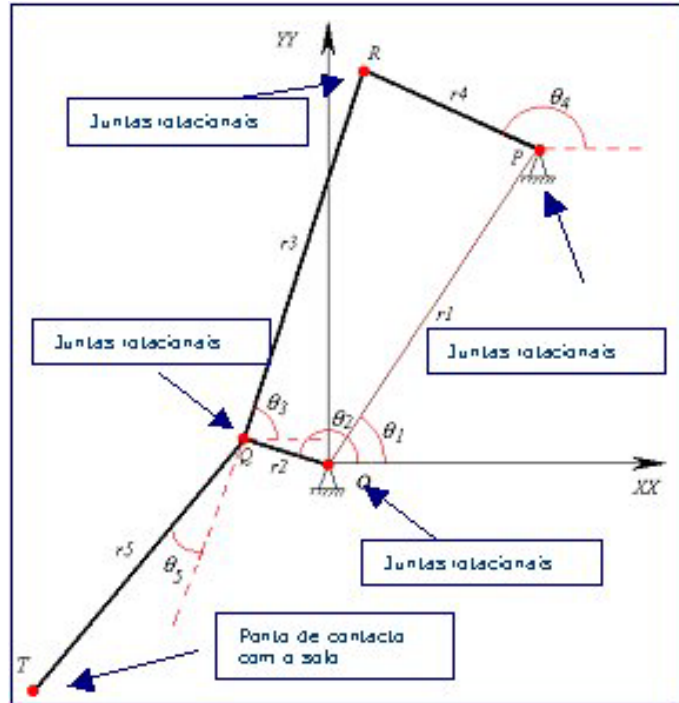


Figura 5 - Representação da geometria

### 6.3.2. Estudo cinemático

Para estudar a composição de movimentos e a interação das pernas com o solo, obtiveram-se as expressões de todos os pontos que definem a geometria em relação ao ponto de contacto com o solo (expressões de (1) a (5)). Posteriormente representou-se a trajectória real, através de simulação, por forma a validar a geometria escolhida (comprimento dos elos, pontos de fixação).

$$R \rightarrow \begin{cases} x_R = r_1 \cos \theta_1 + r_4 \cos \theta_4 - r_2 \cos(\theta_2 + \pi) + r_5 \cos(\theta_3 + \theta_5 + \pi) \\ y_R = r_1 \sin \theta_1 + r_4 \sin \theta_4 - r_2 \sin(\theta_2 + \pi) + r_5 \sin(\theta_3 + \theta_5) \end{cases} \quad (1)$$

$$T \rightarrow \begin{cases} x_T = r_2 \cos \theta_2 - r_5 \cos \theta_3 - r_2 \cos(\theta_2 + \pi) + r_5 \cos(\theta_3 + \theta_5 + \pi) \\ y_T = r_2 \sin \theta_2 - r_5 \sin \theta_3 - r_2 \sin(\theta_2 + \pi) + r_5 \sin(\theta_3 + \theta_5) \end{cases} \quad (2)$$

$$P \rightarrow \begin{cases} x_P = r_1 \cos \theta_1 - r_2 \cos(\theta_2 + \pi) + r_5 \cos(\theta_3 + \theta_5 + \pi) \\ y_P = r_1 \sin \theta_1 - r_2 \sin(\theta_2 + \pi) + r_5 \sin(\theta_3 + \theta_5) \end{cases} \quad (3)$$

$$Q \rightarrow \begin{cases} x_Q = r_2 \cos \theta_2 - r_2 \cos(\theta_2 + \pi) + r_5 \cos(\theta_3 + \theta_5 + \pi) \\ y_Q = r_2 \sin \theta_2 - r_2 \sin(\theta_2 + \pi) + r_5 \sin(\theta_3 + \theta_5) \end{cases} \quad (4)$$

$$O \rightarrow \begin{cases} x_O = -r_2 \cos(\theta_2 + \pi) + r_5 \cos(\theta_3 + \theta_5 + \pi) \\ y_O = -r_2 \sin(\theta_2 + \pi) + r_5 \sin(\theta_3 + \theta_5) \end{cases} \quad (5)$$



### 6.3.3. Estudo dinâmico

Para dimensionar os actuadores (binários), foi necessário efectuar uma análise dinâmica do movimento. Para tal, admitiram-se algumas simplificações: o movimento da estrutura é um movimento paralelo ao solo, e toda a massa do sistema está localizada num ponto. Assim, é possível efectuar a análise apenas para uma perna e depois estender os resultados ao sistema; recorreu-se à função *Lagrangeano*, (7), [http#2], e à equação de *Euler-Lagrange* (6), [http#1]. Todos os cálculos e diferenciações da expressão (10) foram efectuados utilizando a *ToolBox Symbolic* do *MatLab* sendo a expressão final analítica do binário composta por cerca de 20.000 caracteres em formato *MatLab*.

$$\tau = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial Ke}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial Ke}{\partial \theta_2} + \frac{\partial P}{\partial \theta_2} \quad (6)$$

$$L(q_i, \dot{q}_i) = K_e(\dot{q}_i) - P(q_i) \quad (7)$$

$$K_e = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m [v_x^2 + v_y^2 + v_z^2] = \frac{1}{2} m \left[ \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$P = mgy_o \quad (9)$$

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L(q_i, \dot{q}_i)}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L(q_i, \dot{q}_i)}{\partial q_i} \quad (10)$$

## 6.4 Projecto do Mecanismo

### 6.4.1 Selecção das dimensões e geometria

Admitiram-se intuitivamente algumas geometrias e através da análise sucessiva de modificações na geometria tentou-se obter geometrias da perna que proporcionassem um equilíbrio entre o valor do comprimento do passo, o valor da altura do passo e a amplitude de variação do CM. As simulações realizadas demonstraram a incompatibilidade na obtenção simultânea de valores óptimos de passo e altura de transposição. A solução escolhida proporciona um equilíbrio entre as variáveis em causa, sendo esta ilustrada na Figura 6 (direita), onde é possível visualizar a trajectória do CM (verde) e da extremidade da perna (vermelho) para uma rotação completa de  $\theta_2$ .

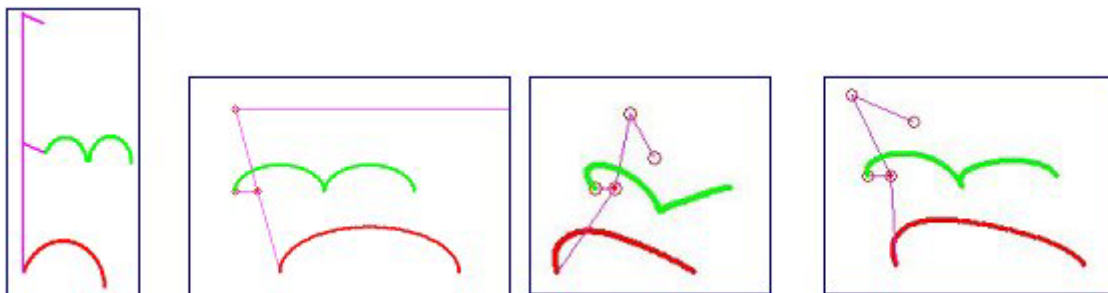


Figura 6 - Resumo das trajectórias simuladas

Movimento vertical puro	Representação da configuração anterior	Exemplo de uma geometria testada	Exemplo de uma geometria testada
Boa manobrabilidade	Situação actual	Elevada capacidade de transposição de obstáculos	Boa capacidade de transposição de obstáculos
Consumo energético elevado	Situação actual	Carácter oscilatório demasiado elevado	Carácter oscilatório acentuada

Tabela 1 – Resumo das características de cada geometria

### 6.4.2. Cálculo do binário e potência

Para o cálculo do binário necessário à movimentação admitiu-se um deslocamento angular em função do tempo  $\theta_2(t)$ , expressão (1.11) e (1.12) (veio do motor) na forma de um polinómio de terceiro grau, para satisfazer as exigências das velocidade de impacto e saída ao solo serem nulas.

$$\theta_2(t) = 3 \frac{\pi}{t_f^2} t^2 - 2 \frac{\pi}{t_f^3} t^3 \quad (1.11)$$

$$\dot{\theta}_2(t) = 6 \frac{\pi}{t_f^2} t - 6 \frac{\pi}{t_f^3} t^2 \quad (1.12)$$

Usando as expressões resultantes do estudo dinâmico calculadas em *MatLab*, obtidas anteriormente, obteve-se um binário máximo de 9.5 Nm e uma potência máxima de 34 W, considerando a massa do robô de 50kg e um tempo de passo de 1s, Figura 7.

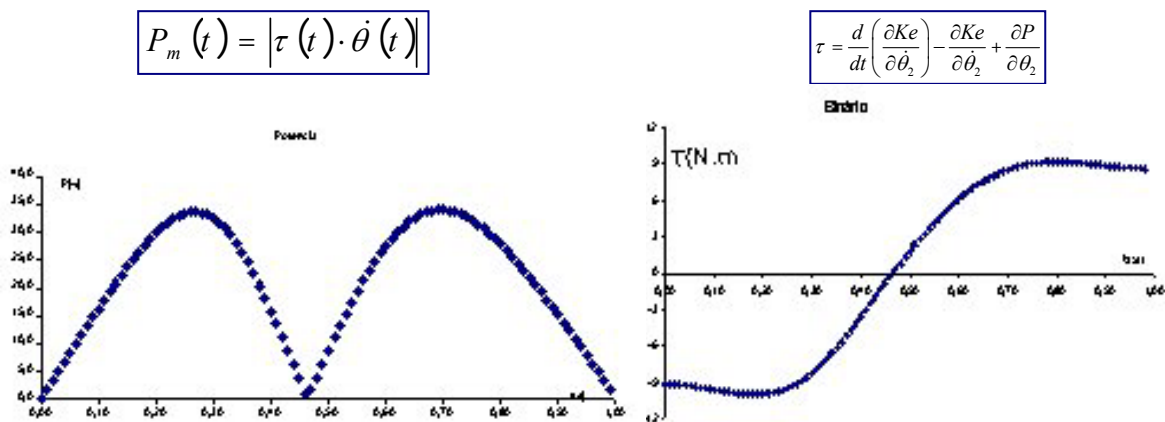


Figura 7 - Gráficos da potência e binário

### 6.4.3 Dimensionamento estrutural

Para se efectuar o dimensionamento estrutural foi necessário seleccionar previamente o material, tiveram-se em conta vários critérios, baixa densidade, boa maquinabilidade, baixo custo, resistência mecânica adequada e propriedades mecânicas (tenacidade e resiliência) compatíveis com os impactos no solo. Assim, entre alguns possíveis tais como o Alumínio, o *Teflon*<sup>®</sup> e o *Nylon*<sup>®</sup>, escolheu-se o *Nylon*<sup>®</sup> por proporcionar um equilíbrio entre os critérios supracitados face aos outros.

No dimensionamento estrutural foi utilizado o *software* de CAD *SolidWorks2000* para a modelação da perna, e o *CosmosWorks* para a análise estrutural. O tipo de material, *Nylon 6,6* [2], tem como principais características as seguintes:

- Densidade: 1.15
- Tensão de cedência: 90 MPa
- Resistência à flexão: 2830 MPa
- Resistência ao corte: 66 MPa
- Dureza (Shore D): 85



Efectuou-se o estudo para a pior situação de exigência mecânica, (com toda a massa do robô suportada numa perna), através da simulação estática segundo o critério de *Von-Mises*. Considerando um coeficiente de segurança de 10, pois não foram tidos em conta na simulação, efeitos dinâmicos, obtendo-se como valor de tensão máxima, 8 MPa e um deslocamento máximo de 0.28 mm, ver Figura 8.

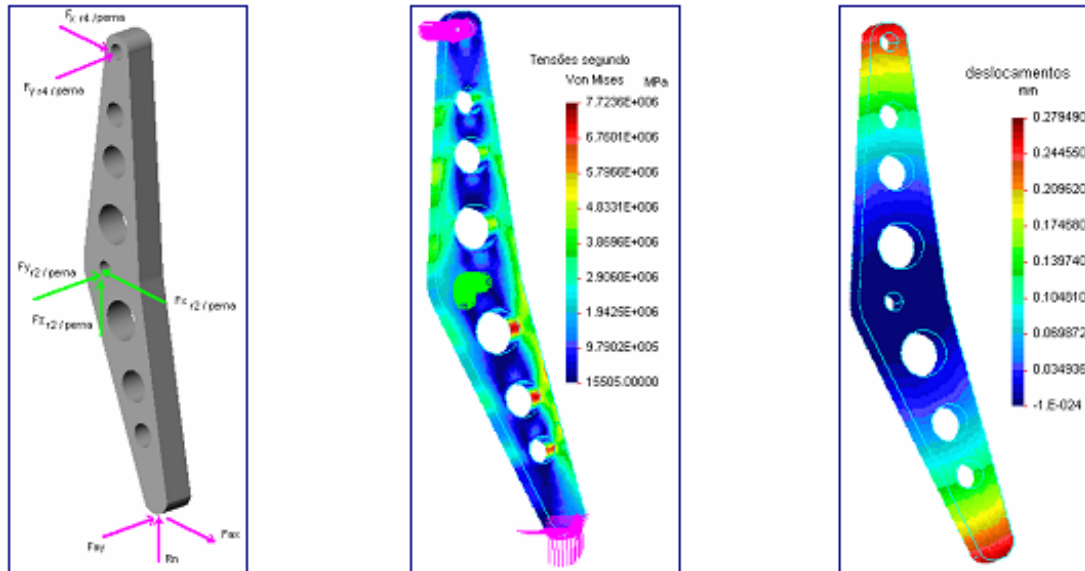


Figura 8 - Resultados da simulação estática

## 6.5 Comentários

Neste estudo formularam-se os modelos cinemático e dinâmico de um robô hexápode com 2 gdl, bem como a optimização de um mecanismo articulado para as pernas, na tentativa de melhorar globalmente o comportamento do robô. Este mecanismo articulado de locomoção elíptica permite, uma maior verticalidade na trajetória de aproximação ao solo, o que poderia proporcionar uma maior facilidade na transposição de obstáculos e explorar as vantagens mecânicas das juntas rotacionais (redução de atritos).

No entanto, em relação à solução existente, as vantagens encontradas não se revelaram suficientemente fortes, por forma a justificarem o fabrico e implementação dessa nova geometria de locomoção. Outros motivos, tais como constrangimentos geométricos da estrutura, necessitando de alterar profundamente outros componentes mecânicos e não haver disponibilidade suficiente face a um projecto de natureza.

Este estudo foi apresentado no âmbito do Encontro Científico do Festival Nacional de Robótica e publicado nas revistas [3] e [4].

## 6.6. Variantes e perspectivas

Com a configuração/geometria estudada surgiu a possibilidade de introduzir geometria variável, isto é, através da variação do fulcro do ponto de apoio superior, Figura 9, segundo xx, a trajetória da extremidade da perna seria prolongada verticalmente, o que aumentaria a altura de transposição. Esta variante permitiria diferentes trajetórias durante a fase aérea. No entanto, é uma mera hipótese teórica dado que na prática exigiria uma grande intervenção.

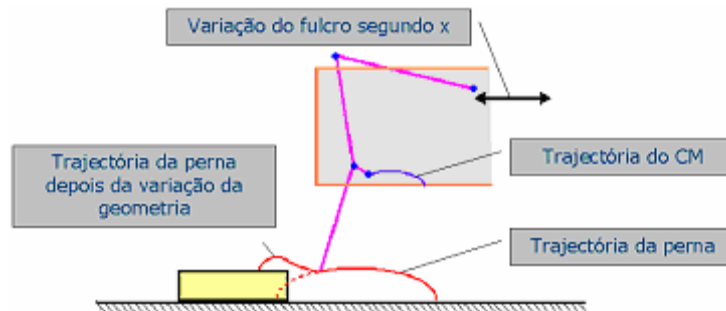


Figura 9 – Ilustração da variante proposta

## 7. Participação no Festival Nacional de Robótica “Robótica2002”

Tendo como principal objectivo melhorar significativamente a sensorização do robô, nomeadamente utilização de visão e aproveitando o facto de o Festival Nacional de Robótica se realizar em Aveiro, surgiu a oportunidade de participar na prova de universidades e politécnicos. Sendo a locomoção hexápode uma limitação na manobrabilidade requerida numa prova deste género, foi inevitável a transformação do tipo de locomoção para rodas.



### 7.1 Projecto e fabrico de componentes mecânicos

Foram efectuados desenhos de definição de órgãos mecânicos, necessários para acoplamento das rodas aos veios motores, e também a alteração e optimização de alguns componentes existentes na transmissão, nomeadamente o duplo apoio dos veios e a união de veios, cujo desempenho não era o mais adequado. Para a montagem dos sensores foram também concebidos alguns suportes.

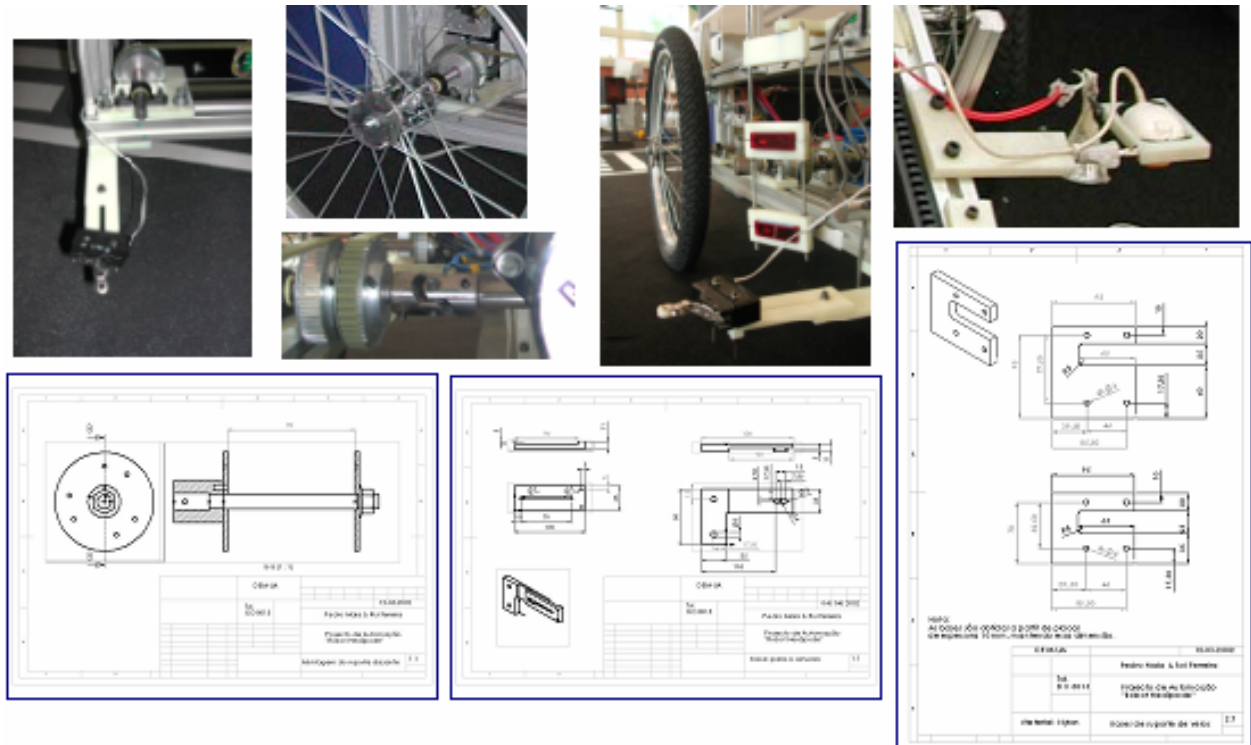
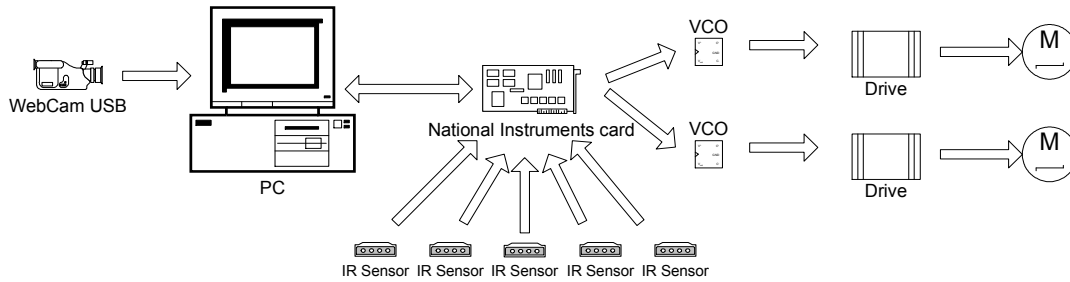


Figura 10 - Desenhos de definição e respectivas peças finais

### 7.2 Sensorização e controlo, *hardware* e *software*

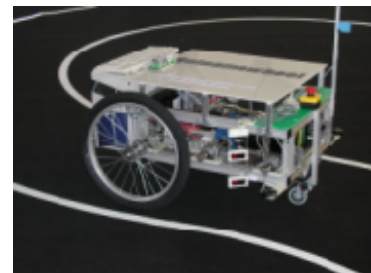
Após uma análise das regras da prova definiram-se os requisitos sensoriais mínimos do robô para poder efectuar a prova de uma forma autónoma. Deste modo, os componentes sensoriais e de controlo são: uma *webcam*, um pc, uma placa de aquisição, quatro sensores infravermelho, dois sensores de contacto, dois VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), drives de potência e dois motores passo-a-passo híbridos.



**Figura 11 - Diagrama geral de funcionamento**

O PLC, juntamente com as cartas PGU, permite apenas o controlo em posição dos motores; assim não foi utilizado o conjunto PLC-PGU. Para ser possível efectuar-se controlo em velocidade nos motores efectuou-se um *upgrade* às drives de potência (VCO), através da soldadura de resistências, condensadores e de circuitos integrados (HEF4046B) cuja função é gerar uma onda quadrada de frequência proporcional à entrada analógica de referência permitindo deste modo controlar a velocidade de cada roda através de duas saídas analógicas da placa de aquisição utilizada.

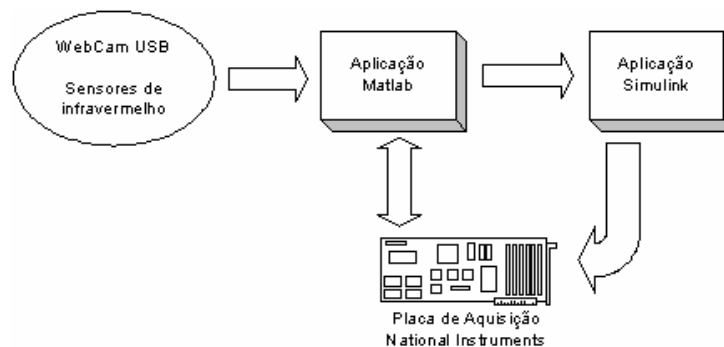
O controlo autónomo do robô foi efectuado através de um algoritmo de tarefas sucessivas pré-programadas, baseado na previsão sequencial de acontecimentos, usando visão artificial e sensores infravermelhos.



**Figura 12 – QuinamaWheel em plena prova**

Este algoritmo é constituído por sucessões de ciclos intermédios, os quais, são activados e desactivados através da informação externa adquirida pelos sensores (*webcam*, sensor da passadeira, sensor do túnel, sensores dos semáforos e sensores de contacto), cuja interpretação indica a fase ou posição ao longo do percurso.

Em cada um destes ciclos são tidos em conta vários aspectos: interpretação adequada da imagem obtida face à respectiva situação ou posição na pista por forma a ser calculado um erro na trajectória, prioridade de tarefas, acções reactivas, utilização de *timeout's* nas fases de transição de tarefas, na perca forçada da linha e na detecção da passadeira, armazenamento de valores relativos à trajectória para o cálculo de trajectórias na fase de movimento sem realimentação de médio nível, detecção de fim de prova, comunicação com a aplicação *Simulink* e escrita/leitura das saídas digitais.



**Figura 13 - Fluxo de informação no algoritmo de controlo**

Na Figura 14, pode-se ver um exemplo da interpretação sequencial e da aplicação *Simulink* responsável pelo controlo dos motores do robô.

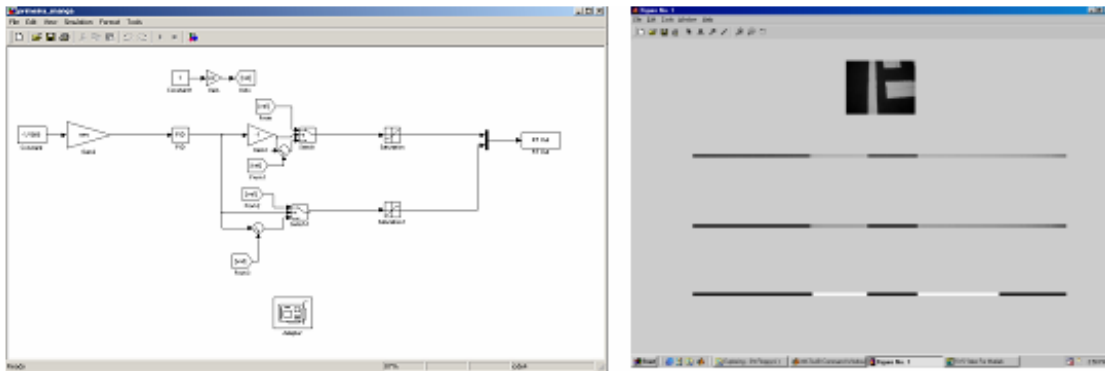


Figura 14 - Aplicação *Simulink* e interpretação imagem

### 7.3 Comentários

A iniciativa de participar na prova do Festival Nacional de Robótica implicou uma transformação considerável na estrutura, controlo e sensorização do sistema robótico existente. Todo um conjunto de adaptações e modificações efectuadas à estrutura e transmissão para possibilitar o uso de rodas e mesmo melhorar a resistência mecânica do conjunto, possibilitaram a transformação reversível do tipo de locomoção e controlo. Contudo, as intervenções ao nível mecânico ou no hardware não ficaram por aqui, foi ainda necessário projectar e construir alguns suportes para fixação dos novos elementos sensoriais assim como os novos elementos de controlo, nomeadamente o computador de secretária. Todo este processo ainda que de carácter relativamente simples, teve como consequência uma limitação na calendarização e planeamento dedicado ao controlo (implementação de algoritmos) e sensorização do veículo, sendo deste modo justificado, o uso de uma linguagem de programação e de algumas aplicações informáticas longe de serem as ideais para controlo em velocidade de um veículo autónomo utilizando visão e sensores infravermelhos.

## 8. Participação no Fórum Ciência Viva

A Associação Ciência Viva é uma Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica foi criada como uma unidade do Ministério da Ciência e da Tecnologia, com o intuito de apoiar acções dirigidas para a promoção da educação científica e tecnológica na sociedade portuguesa, com especial ênfase nas camadas mais jovens e na população escolar dos ensinos básico e secundário.



Os intervenientes nos projectos *Ciência Viva* participam anualmente num encontro orientado para a divulgação, debate e reflexão sobre as actividades desenvolvidas no âmbito dos projectos.

### 8.1. Objectivos da participação

Em consequência de uma classificação honrosa no “Robótica2002” foi endereçado o convite para no contexto do Fórum, participar na área da “Robótica ao Vivo”, cujo ponto de interesse era a troca de experiência e de conhecimentos na área da robótica, juntando investigadores, professores e alunos.

Foram também convidadas outras equipas participantes no II Concurso Nacional de Robótica – “Robótica 2002”, das classes UIP, ESP e Micro-Rato.



## 8.2. Participação

O robô, em modo hexápode (MecHex), revelou-se um grande sucesso por parte do público, na sua maioria jovens estudantes, mostrando especial interesse na forma da locomoção. O mesmo sucedeu com o robô no modo rodas (QuinamaWheel), devido à sua mutação, onde o público reconhecia a base como pertencente ao MecHex.

A troca do tipo de locomoção, pernas por rodas, tornou a acontecer no dia seguinte para finalizar a nossa presença no Fórum.



Figura 15 - Imagens capturadas no Fórum Ciência Viva

## 8.3. Comentários

Nota-se o crescente interesse, por parte do público em geral e do mais jovem em particular, na evolução da robótica em Portugal, incentivando o seu desenvolvimento.

Serve este tipo de actividades/demonstrações para publicitar a Universidade de Aveiro e em particular o Departamento de Engenharia Mecânica, junto da população estudantil.

## 9. Sensorização do sistema robótico MecHex

Na última etapa do Projecto de Automação, fez-se a sensorização do robô hexápode de forma a cumprir todos os objectivos propostos inicialmente. A sensorização do robô fôra abordada aquando do festival “Robotica2002”, mas apenas na versão “QuinamaWheel” e não na de Hexápode. Assim, todo o conhecimento adquirido durante a preparação da prova foi aplicado na sensorização do hexápode, mas com a diferença de se utilizar simultaneamente o PC e o PLC comunicando entre ambos via DDE. Deste modo adaptou-se um PC para a montagem no robô e, utilizando uma *webcam*, pretendeu-se possibilitar ao robô a interpretação de ordens de locomoção através da orientação de uma seta preta num fundo branco, e também a sua paragem de emergência e activação dependendo da cor do respectivo placar gráfico, vermelho ou verde. Por último a cor azul implica a paragem definitiva. Uma representação do hardware e respectivo fluxo de informação visualiza-se na Figura 16.

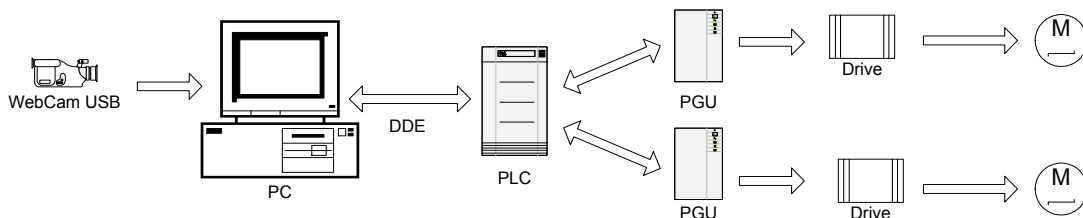


Figura 16 - Diagrama de funcionamento da sensorização

## 9.1 Sistema de visão e algoritmo de interpretação

Uma aplicação em *MatLab* utiliza uma função de aquisição de imagens, as quais são interpretadas através de operações de análise de cor e posteriormente, binarizadas e transformadas por forma a obter a orientação de uma seta. A análise da cor baseia-se na comparação numérica das três matrizes RGB da imagem, verificando a intensidade de cor dominante.

A interpretação da orientação, Figura 18, é efectuada através do cálculo de dois pontos da seta, sendo um associado à “ponta” da seta e outro associado ao corpo permitindo calcular-se facilmente o ângulo de orientação do vector definido pelos pontos em causa. Esta informação é depois traduzida em acções, cuja execução é efectuada pelo PLC e respectivas Cartas de Pulsos (PGU’s), através da transmissão de informação entre o PLC e o PC via DDE.

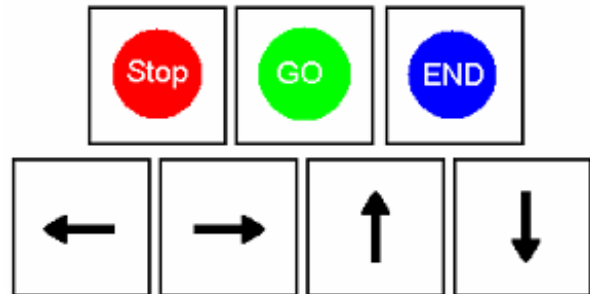


Figura 17 - Indicações gráficas possíveis

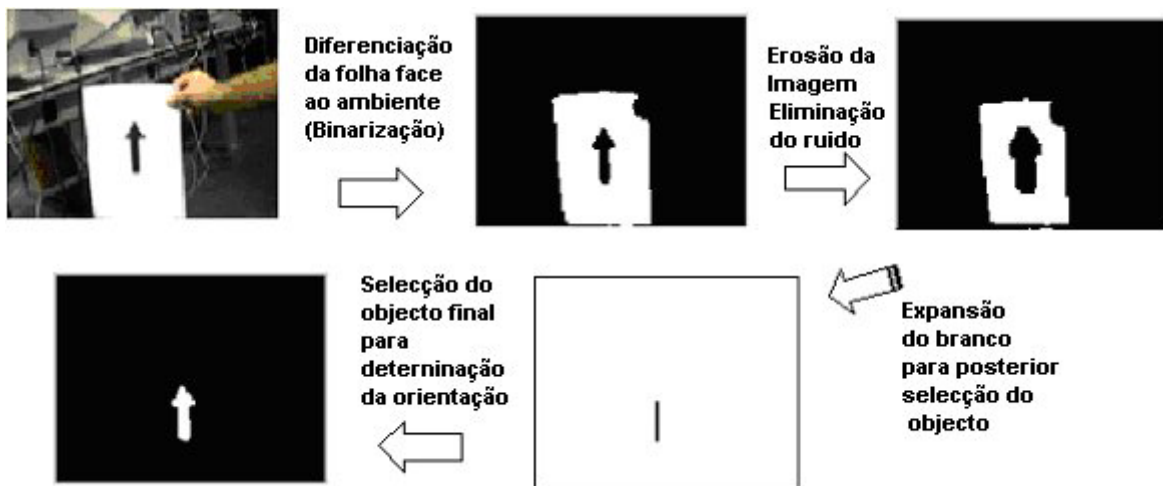


Figura 18 - Sequência no tratamento da imagem

## 9.2 Programa PLC com sincronização automática

O programa PLC existente foi modificado por forma a poder executar novas ordens do PC, nomeadamente a paragem de emergência imediata, e a sincronização automática das pernas. Esta sincronização das pernas é justificada pelo facto de poder acontecer a paragem de emergência durante a fase de rotação do robô em que as pernas se dessincronizam durante uma fase desse ciclo, sendo necessário a sua sincronização antes de recomeçar o movimento.

Foram assim criados novos POU's (program organization unit) activados através de memórias internas do PLC directamente pelo algoritmo em *MatLab* via DDE, Figura 19. A sincronização das pernas é efectuada de forma independente e separadamente, para tal são utilizados os sensores indutivos sendo ordenado um movimento de carácter pulsante e de velocidade reduzida, por forma a facilitar a sincronização, até à detecção da perna por parte do sensor, a outra perna é depois sincronizada da mesma forma. Esta opção de sincronização alternada e não simultânea justifica-se para reduzir a possibilidade de perda de estabilidade do robô.





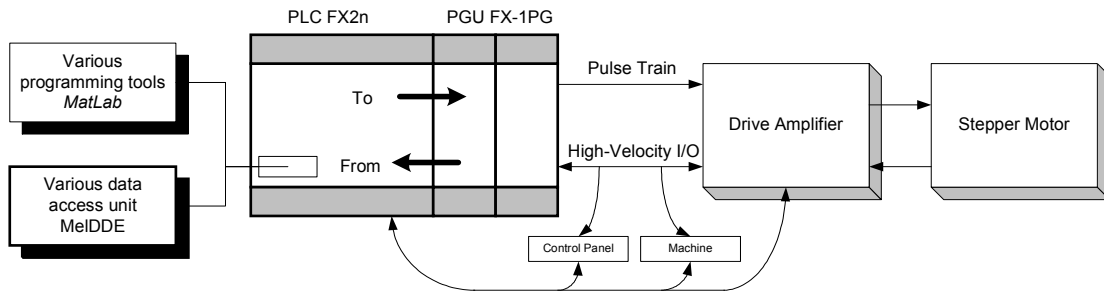


Figura 19 – Diagrama de funcionamento geral do PLC/PGU's

### 9.3 Comunicação PC-PLC

Utilizando-se o *software MeIDDE* é possível comunicar de forma transparente com o autómato, ou seja não é necessário ter em conta o meio físico de comunicação. Para tal no algoritmo em *MatLab* inicia-se uma conversação com o *MeIDDE* na qual o Servidor é o *MeIDDE* e o *MatLab* o Cliente, Figura 20. Assim, cada variável do autómato passa a ser reconhecida como um *Item* e, desta forma, o seu valor pode ser lido e modificado. Utilizando-se as funções do *MatLab* “*ddepoke*” e “*ddereq*” consegue-se escrever e ler nas variáveis do autómato, respectivamente.

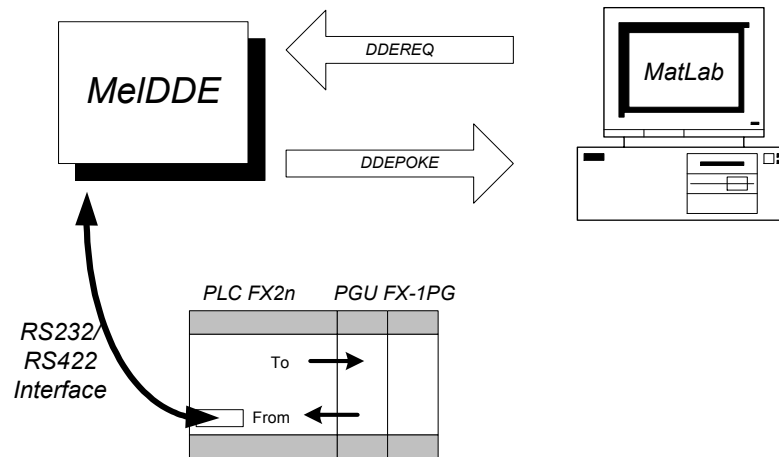


Figura 20 - Comunicação PC – MeIDDE - PLC

## 10. Comentários Finais

Neste período final da Licenciatura, foram aplicados os conhecimentos adquiridos ao longo da mesma, abrangendo de uma forma geral as principais áreas da Engenharia Mecânica, por forma à realização do projecto final de automação. Este trabalho de carácter notoriamente didáctico, pois uma utilização real do robô implicaria necessariamente uma re-engenharia, quer a nível estrutural quer ao nível de controlo, nomeadamente no número de actuadores independentes, revelou-se um desafio interessante e multifacetado. Referindo de forma sucinta os vários assuntos abordados durante este projecto, podem-se destacar;

- Programação e parametrização de recursos industriais de controlo (PLC e PGU's)
- Estudo de um mecanismo através da análise cinemática e dinâmica, do qual se pretendia obter uma representação gráfica do seu movimento cinemático e quantificar-se a exigência energética teórica para o seu funcionamento. Para tal foram abordadas e utilizadas metodologias de cálculo que se revelaram como ferramentas muito importantes na área da concepção em engenharia.
- Escrita, apresentação e publicação de um artigo na área da robótica, resultado do estudo anterior.
- Utilização de ferramentas de CAD, CAE CAM, sendo o *SolidWorks* como software de modelação sólida de componentes mecânicos (CAD), o *CosmosWorks* na área de dimensionamento e teste da resistência mecânica (CAE) e por ultimo a utilização de um centro de maquinagem para fabrico de alguns componentes (CAM), onde os programas foram programados manualmente dada a simplicidade das peças.
- Utilização de visão artificial e de outros sensores como os infravermelho, no controlo de sistemas, cujo algoritmo de controlo possuiu um nível de complexidade relativamente elevada, permitindo mesmo a competição directa com outros robôs concebidos por áreas da engenharia mais vocacionadas para a programação.
- Uma pequena abordagem a circuitos eléctricos simples, nomeadamente VCO (*Voltage Control Oscillator*), ligações eléctricas de sensores e também ao modo de funcionamento de motores passo-a-passo.
- Integração de sistemas ou comunicação entre recursos, ligação de um PLC/PGU's e um PC através de uma comunicação transparente, via *DDE (Dynamic Data Exchange)* e *interface RS232/RS422*.

Estes métodos, ferramentas ou soluções supracitados foram abordados com o intuito modificar as potencialidades do robô cumprindo os objectivos inicialmente propostos, especificamente e de forma conclusiva podemos referir;

- o estudo da viabilidade de sistemas alternativos de locomoção foi abordado de forma exaustiva. Utilizando-se um modelo genérico para a simulação de variadas geometrias e respectivos cálculos energéticos. O *MatLab* foi utilizado como ferramenta matemática e gráfica, facilitando os cálculos efectuados. Este estudo permitiu concluir que a optimização, do tipo e parâmetros de locomoção, do robô dificilmente poderá evoluir de forma considerável, uma vez que apresenta um elevado número de variáveis dependentes, cuja optimização mutua é incompatível.
- As unidades de controlo e sensorização do robô foram melhoradas através da introdução de uma *motherboard* e outro tipo de sensores, cujo principal objectivo foi tornar possível o uso de visão e permitir um controlo mais versátil, ao nível da programação. Deste modo, o robô adquiriu uma capacidade de interpretação de ordens gráficas, tornando-se mais autónomo, no entanto, a sua reduzida manobrabilidade revela-se como um obstáculo ao pleno uso das capacidades sensoriais.
- Através da modificação e adição de novas funções ao algoritmo de controlo do PLC, conseguiu-se dotar o robô da capacidade de se sincronizar automaticamente e também de efectuar um planeamento da trajectória minimizando o impacto no solo.

Alguma ambição da nossa parte aliada a uma orientação brilhante, sistemática e enriquecedora da parte dos orientadores, permitiu-nos estender de forma considerável os objectivos, porém, na nossa opinião, estes foram na sua globalidade cumpridos.

Por ultimo, tentámos documentar de uma forma clara e detalhada todo o trabalho efectuado, visando dois principais objectivos, o de permitir uma continuidade e evolução do projecto e simultaneamente servir como base e facilitar a tarefa dos eventuais grupos futuros.

## 11. Bibliografia

- [1] – <http://robotica.ua.pt>
- [2] – <http://www.amidata.es>
- [3] – revista “Electrónica e Telecomunicações”, de Abril de 2002 do DET da UA.
- [4] – revista nacional “Robótica”.
- [5] – D.J. Todd, *Walking Machines: An Introduction to Legged Robots*, Chapman & Hall, 1985.
- [6] – S-M. Song, K.J. Waldron, *Machines that Walk: The Adaptive Suspension Vehicle*, The MIT Press, 1989.
- [7] – K.J. Waldron, G.L. Kinzel, *Kinematics, Dynamics, and Design of Machinery*, John Wiley & Sons, New York, 1999.

- [http#1] [www.uwm.edu/~norbury/gr/node36](http://www.uwm.edu/~norbury/gr/node36)
- [http#2] <http://www.physics.ubc.ca/~birger/n206110/n206110>
- [http#3] [www.enme.umd.edu/ice\\_lab/teach/ME403/lagrange/tutlagrange](http://www.enme.umd.edu/ice_lab/teach/ME403/lagrange/tutlagrange)
- [http#4] [http://www.mitsubishi-automation.de/produkt\\_englisch.html](http://www.mitsubishi-automation.de/produkt_englisch.html)