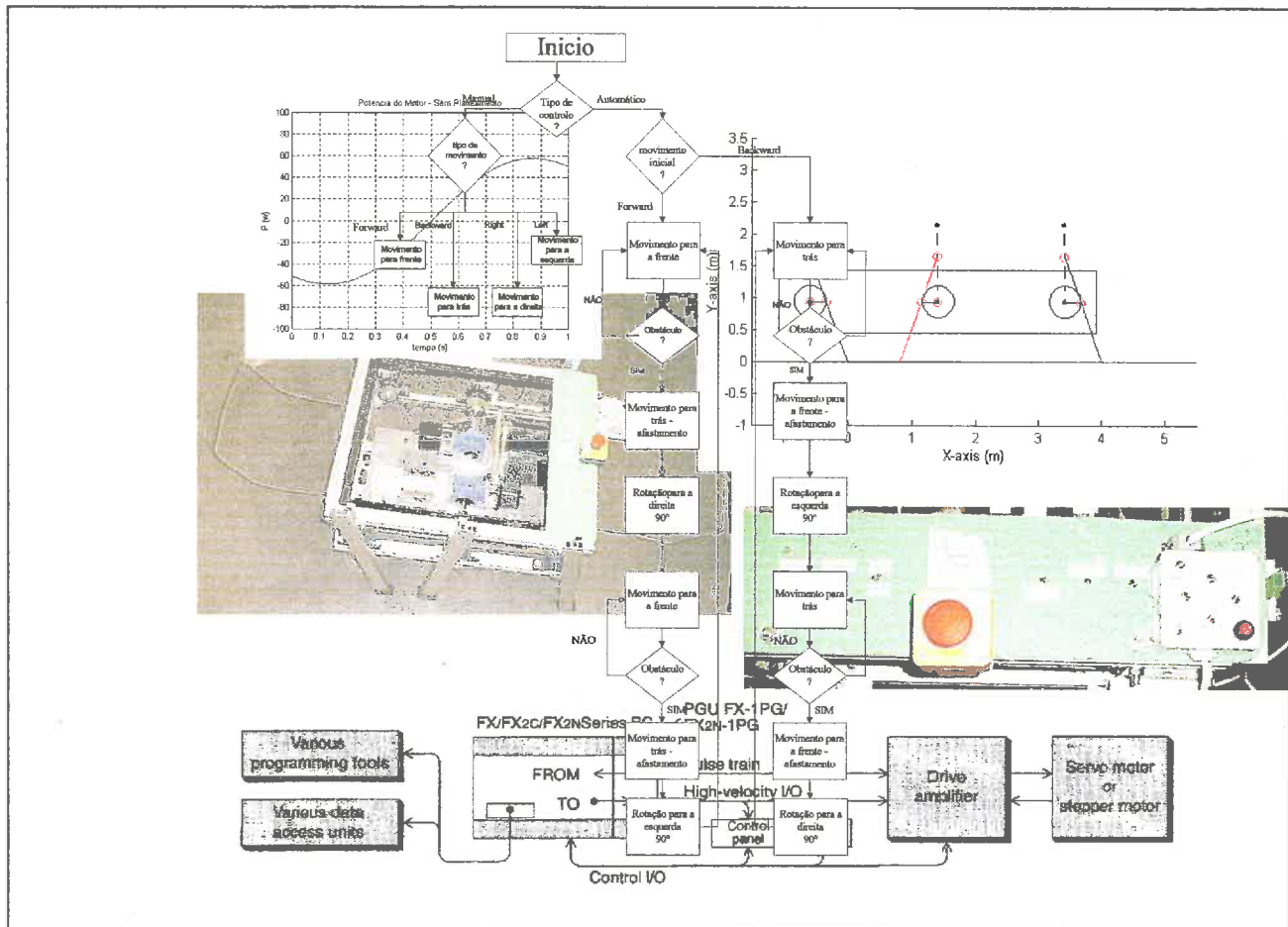


Projecto de Automação
Sensorização e controlo de um robô hexápode



Relatório Final

Realizado por:
Rui Mendes



Orientadores:
Prof. Vítor Santos
Prof. Filipe Silva

UNIVERSIDADE DE AVEIRO
19 de Setembro de 2001

Índice	páginas
1.Introdução	1
2.Objectivos	2
3.Especificações do robô hexápode	2
4. Estado 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.

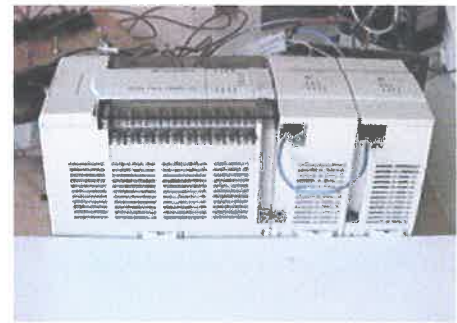


Figura N.º1 – Controlador programável e cartas de eixo

• 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

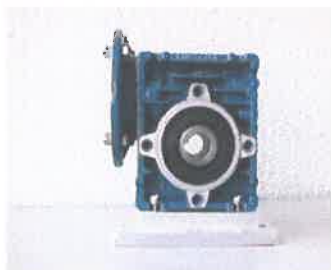


Figura N.º 4 – Redutor

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.

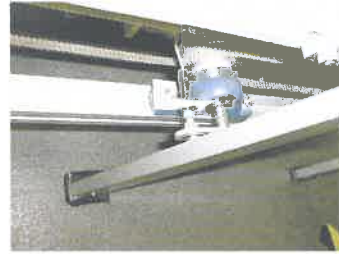


Figura N.º 7 – Sensor indutivo e seu posicionamento

• 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.

6.1. Análise cinemática ao movimento da perna

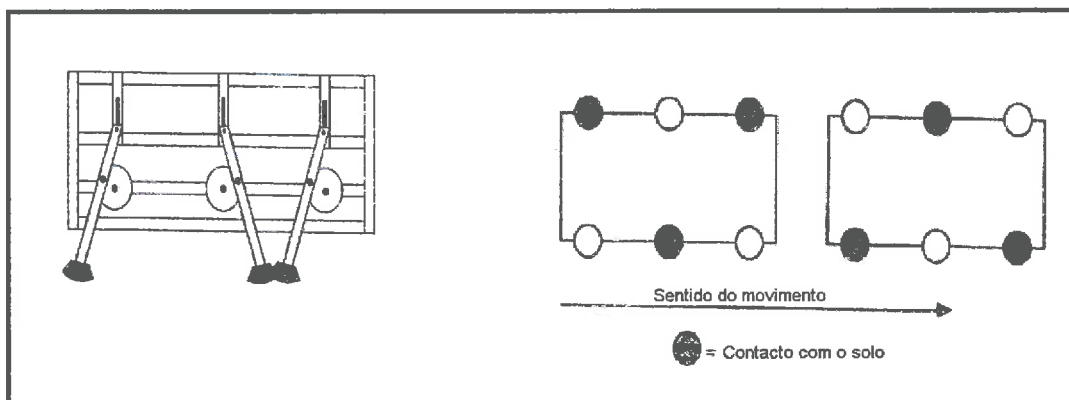


Figura N.º 9 – Movimento efectuado pelo robô

Na figura 9 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 tração.

O estudo cinemático é realizado 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 equações vão permitir a simulação do movimento do robô e conseqüente estudo dinâmico.

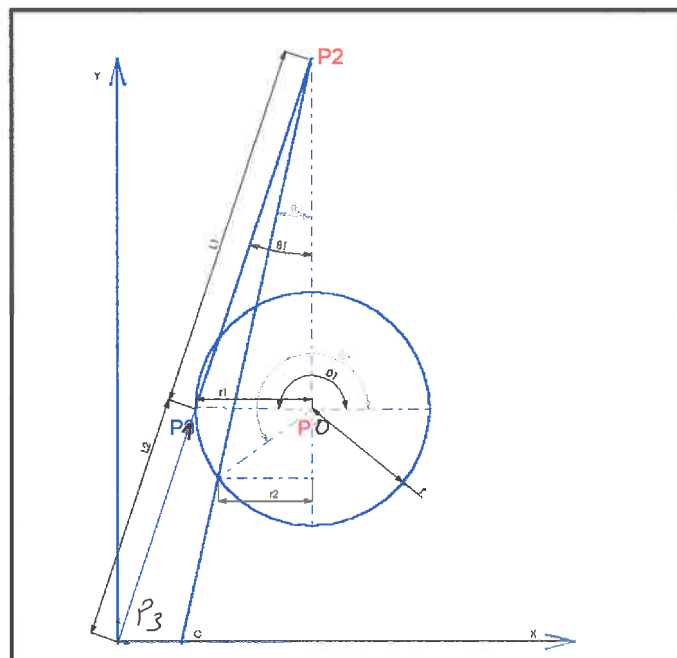


Fig N°10- Localização dos pontos quando a perna está no chão

O movimento é transmitida à perna central(figura 10), sendo depois transmitido às outras pernas.

Pontos a estudar

$P_0 (x_0, y_0)$ - Ponto de acoplamento ao veio transmissor;

$P_1 (x_1, y_1)$ - Ponto de união da perna ao elo transmissor;

$P_2 (x_2, y_2)$ - Ponto de guiamento superior;

$P_3 (x_3, y_3)$ - Extremidade que contacta com o chão;

Perna no chão (Fig.N°10)

Para efeitos de cálculos considera-se que a perna está fixa ao solo, logo o ponto P_3 é considerado fixo e origem do sistema de coordenadas. As equações obtidas são função dos ângulos β e θ .

$$\beta = -\frac{\pi}{2} + a \cos\left(\frac{-r \cos(\theta)}{L_1}\right) \quad (6.1)$$

$$\theta = [\pi, 2\pi] \quad (6.2)$$

O ponto P3 está fixo e sendo a origem das coordenadas temos:

$$P_3 \begin{cases} x_3 = 0 \\ y_3 = 0 \end{cases} \quad (6.3)$$

$$P_0 \begin{cases} x_0 = (L_1 + L_2) \sin(\beta) \\ y_0 = -r \sin(-\theta) + L_2 \cos(\beta) \end{cases} \quad (6.4)$$

$$P_1 \begin{cases} x_1 = -r \cos(\theta) + (L_1 + L_2) \sin(\beta) \\ y_1 = L_2 \cos(\beta) \end{cases} \quad (6.5)$$

$$P_2 \begin{cases} x_2 = (L_1 + L_2) \sin(\beta) \\ y_2 = (L_1 + L_2) \cos(\beta) \end{cases} \quad (6.6)$$

Coordenadas em função do ângulo θ

$$\beta = -\frac{\pi}{2} + a \cos\left(\frac{-r \cos(\theta)}{L_1}\right) \quad (6.7)$$

Sabendo que: $\sin(\alpha + \phi) = (\sin \alpha \cos \phi) + (\cos \alpha \sin \phi)$

vem

$$\begin{aligned} \sin(\beta) &= \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) * \cos\left(a \cos\left(-\frac{r}{L_1} \cos(\theta)\right)\right) \\ &= -\frac{r}{L_1} \cos(\theta) \end{aligned}$$

ainda

$$\sin(\beta)^2 + \cos(\beta)^2 = 1$$

temos que

$$\cos(\beta) = \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \quad (6.8)$$

substituindo nas equações (6.4, 6.5, 6.6) obtemos que:

$$P_0 \begin{cases} x_0 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_0 = -r \sin(\theta) + L_2 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases}$$

$$P_1 \begin{cases} x_1 = r \cos(\theta) + \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_1 = L_2 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \quad (6.10)$$

$$P_2 \begin{cases} x_2 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_2 = (L_1 + L_2) \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1^2} \cos^2(\theta)} \end{cases} \quad (6.11)$$

Perna no ar

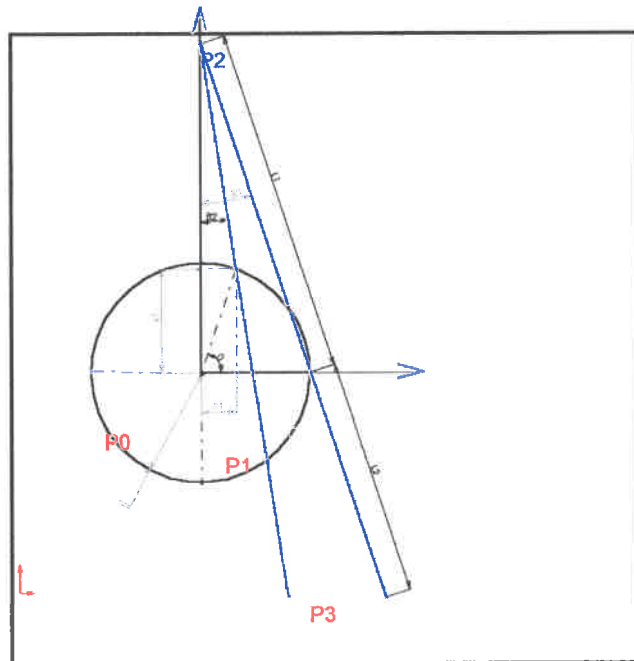


Fig.nº11 – Localização dos pontos quando a perna está no ar

Na fig.11 está a representação geométrica do movimento da perna quando esta está no ar, o modo de raciocínio é o mesmo que no caso da perna está no chão, no entanto agora a origem dos eixos está no ponto P_0

$$\theta = [0, \pi]$$

$$P_0 \quad \begin{cases} x_0 = K_x \\ y_0 = K_y \end{cases} \quad (6.12)$$

$$P_1 \quad \begin{cases} x_1 = r \cos(\theta) \\ y_1 = r \sin(\theta) \end{cases} \quad (6.13)$$

$$P_2 \quad \begin{cases} x_2 = x_0 \\ y_2 = L_1 \cos(\beta) + r \sin(\theta) \end{cases} \quad (6.14)$$

$$P_3 \quad \begin{cases} x_3 = (L_1 + L_2) \sin(\beta) \\ y_3 = y_2 - (L_1 + L_2) \cos(\beta) \end{cases} \quad (6.15)$$

Posições em função de θ

Do mesmo modo que anteriormente

$$P_1 \quad \begin{cases} x_1 = r \cos(\theta) \\ y_1 = r \sin(\theta) \end{cases} \quad (6.16)$$

$$P_2 \quad \begin{cases} x_2 = x_0 \\ y_2 = r \sin(\theta) + L_1 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1} \cos(\theta)^2} \end{cases} \quad (6.17)$$

$$P_3 \quad \begin{cases} x_3 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \\ y_3 = r \sin(\theta) + L_1 \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1} \cos(\theta)^2} - (L_1 + L_2) \sqrt{1 - \frac{r^2}{L_1} \cos(\theta)^2} \end{cases} \quad (6.18)$$

6.2. Planeamento de trajectória

Objectivo do planeamento da trajectória é evitar embates bruscos no solo evitando danos no equipamento, dado o robô 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.

$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (6.19)$$

Aplicando à expressão anterior a primeira e segunda derivada vamos obter a expressão para a velocidade e aceleração angular:

$$\theta(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (6.20)$$

$$\dot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3t \quad (6.21)$$

Para um movimento de 1s com variação de θ entre 0 e π e com velocidades angulares iniciais e finais nulas:

$$\begin{aligned} \theta(t_i) &= 0 \\ \theta(t_f) &= \pi \\ \dot{\theta}(t_i) &= 0 \\ \dot{\theta}(t_f) &= 0 \end{aligned} \quad (6.22)$$

Aplicando as condições iniciais (6.22), às equações (6.20 e 6.21) temos que

$$\begin{aligned} a_0 &= 0 \\ a_1 &= 0 \end{aligned} \quad (6.23)$$

Sabendo que:

$$\left\{ \begin{aligned} \theta(t) &= a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \\ \dot{\theta}(t) &= a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \\ a_0 &= 0 \\ a_1 &= 0 \end{aligned} \right. \quad (6.24)$$

temos então

$$\begin{cases} a_2 = \frac{3(\theta_f - \theta_i)}{t_f^2} \\ a_3 = \frac{-2(\theta_f - \theta_i)}{t_f^3} \end{cases} \quad (6.25)$$

De (6.24, 6.25) e das condições iniciais vamos obter:

$$\theta(t) = \theta_i + \frac{3(\theta_f - \theta_i)}{t_f^2} t^2 + \frac{2(\theta_f - \theta_i)}{t_f^3} t^3 \quad (6.26)$$

Substituindo pelas condições iniciais e finais

$$\theta(t) = 3\pi t^2 - 2\pi t^3 \quad (6.27)$$

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

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

As equações 6.27 são as expressões finais para o movimento planeado.

No caso do movimento ser não planeado temos que:

$$\theta(t) = kt$$

$$\dot{\theta}(t) = k \quad (6.28)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 0$$

As equações (6.27 e 6.28) vão ser usadas na simulação da evolução do binário do motor, a partir da igualdade de Lagrange-Euler e do programa MatLab.

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

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

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

Podemos observar na fig.12 a variação das variáveis angulares (deslocamento, velocidade e aceleração) com planeamento de trajectória, nas figuras seguintes.

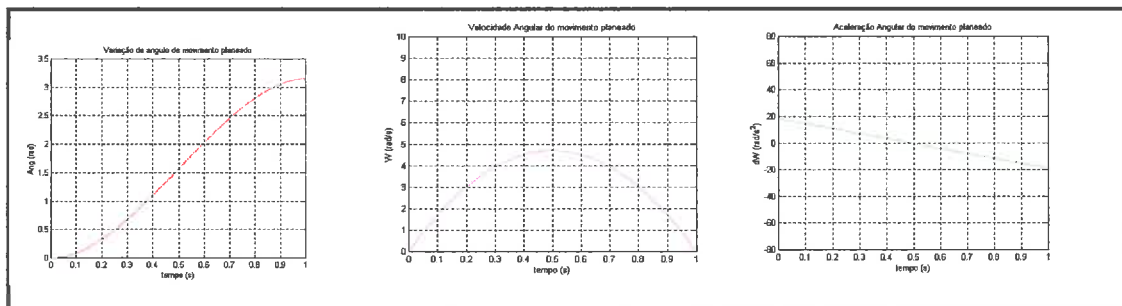


Figura N.º 12 – Variáveis angulares – com planeamento de trajectória

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

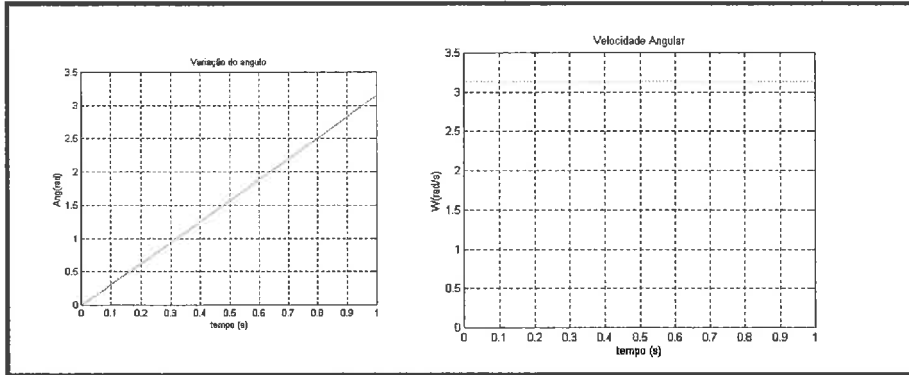


Fig. N°13 – variáveis angulares - sem planeamento de trajectória

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 (Ec) 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.

$$L = E_c - P \quad (6.29)$$

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta}$$

$$= \frac{d}{dt} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial E_c}{\partial \theta} + \frac{\partial P}{\partial \theta}$$

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (6.30)$$

$$= \frac{d}{dt} \frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial E_c}{\partial \theta} + \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad (6.31)$$

Cálculo da Energia Cinética

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (6.32)$$

A velocidade total ao quadrado não é mais que a soma do quadrado das velocidades no eixo x e y:

$$v^2 = (x_0^2 + y_0^2) \quad (6.33)$$

A equação (6.9) dá a posição do ponto P_0

$$\begin{cases} y_0 = -r \sin(\theta) + L_2 \sqrt{1 - k_2 \cos^2(\theta)} \\ x_0 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \cos(\theta) \end{cases} \quad (6.34)$$

definição de constantes

$$\begin{cases} k_1 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} r \\ k_2 = \frac{r^2}{L_2^2} \end{cases} \quad (6.35)$$

usando as seguintes derivadas

$$(\cos x)' = -x' \sin x$$

$$(\sin x)' = x' \cos x$$

$$(\sqrt{x})' = \frac{x'}{2\sqrt{x}}$$

Expressão das velocidades no ponto P_0

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = -k_1 \sin \theta \dot{\theta} \\ \dot{y}_0 = -r \cos \theta \dot{\theta} + \frac{L_2 k_2 \cos \theta \sin \theta}{\sqrt{1 - k_2 \cos^2 \theta}} \dot{\theta} \end{cases} \quad (6.36)$$

A partir das equações (6.35 e 6.36), obtemos as equações para a Energia Cinética e Potencial:

$$Ec = \frac{1}{2} m \left[\left(k_1 \sin \theta \dot{\theta} \right)^2 + \left(r \cos \theta \dot{\theta} + \frac{L_2 k_2 \cos \theta \sin \theta}{\sqrt{1 - k_2 \cos^2 \theta}} \dot{\theta} \right)^2 \right] \quad (6.37)$$

$$P = mg(-r \sin \theta + L_2 \sqrt{1 - k_2 \cos^2 \theta}) \quad (6.38)$$

6.4. Resultados e conclusões

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

- Com planeamento de trajectória

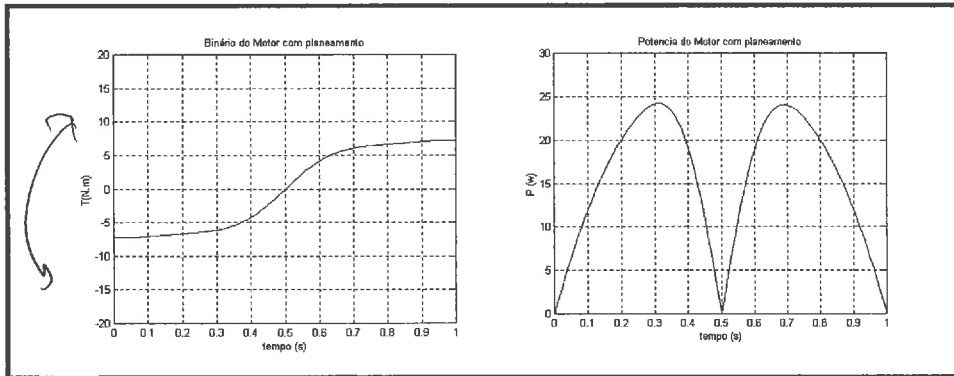


Figura N.º 14 – Binário do motor – sem planeamento

- Sem planeamento de trajectória

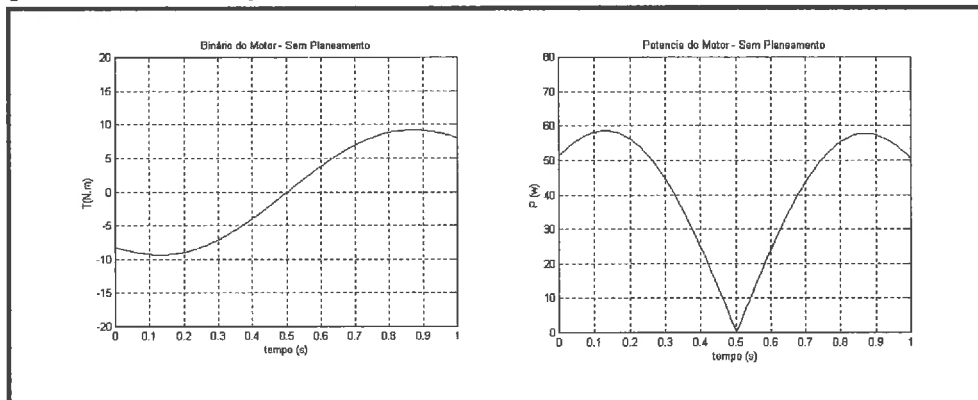


Figura N.º 15 – Binário do motor – com planeamento

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						
stock no.	440-420	440-436	440-442	440-458	440-464	440-470
Rated voltage (V)	5	12	5.1	12	3	2.5
Rated current (A)	0.5	0.16	1	0.6	2	4.5
Resistance (Ω)	10	75	5	20	1.5	0.56
Inductance (mH)	6	30	9	32	5	2.8
Detent torque (mNm)	5	4	30	30	40	100
Holding torque (mNm)	70	70	500	600	1200	2000
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 16 – 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.

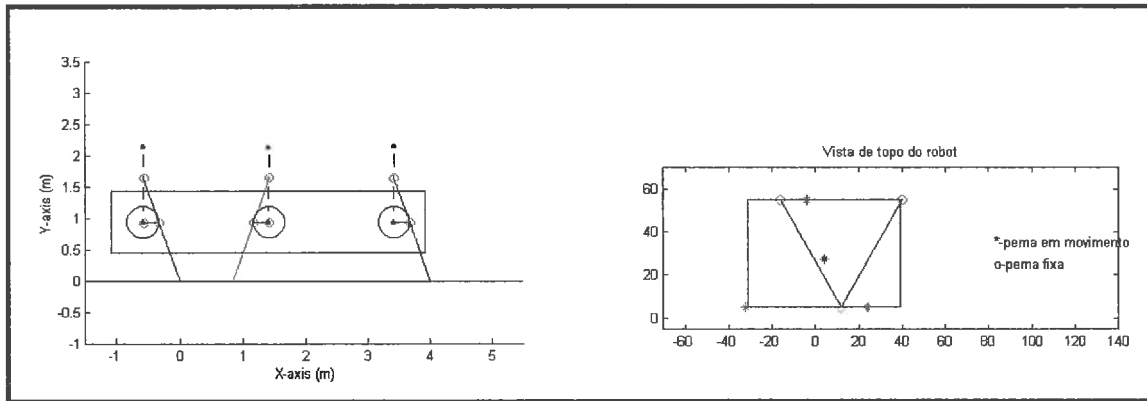


Figura N.º17– Simulação cinemática

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.

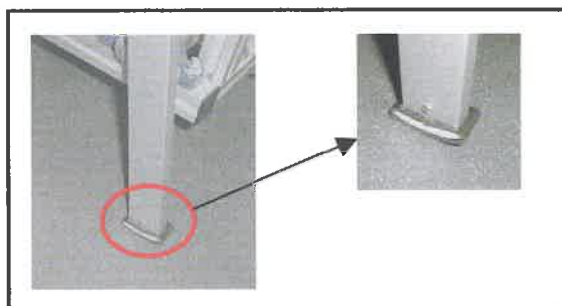


Figura N.º 18 – Perna do robô hexápode

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 19 – 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.º 19).

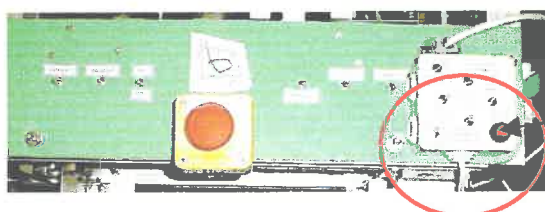


Figura N.º 20 – Painel de controlo e consola

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*).

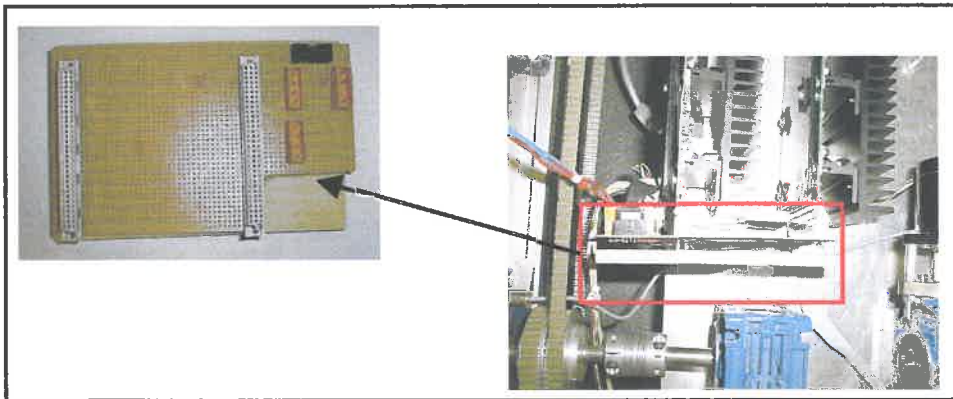


Figura N.º 21 – Interface unidade de potência/motor

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 Nº21*). 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.

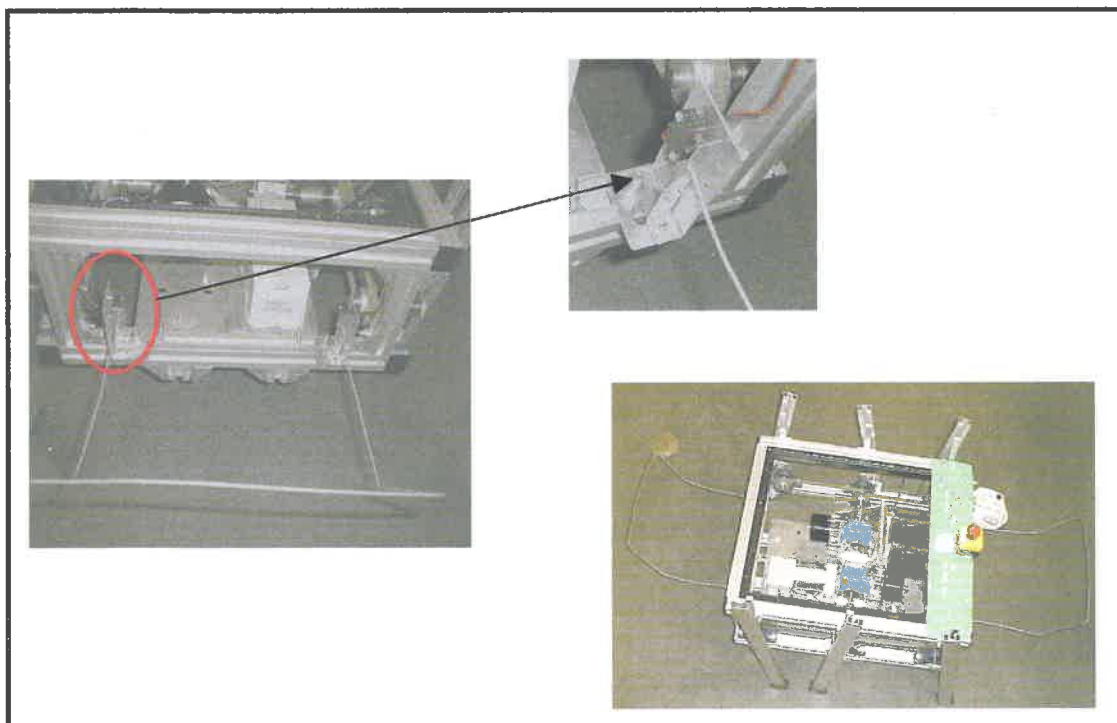


Figura N.º 22 – Detectores fim de curso

9. Controlo

O controlo do robô realizado através do PLC (*Programmable Logical Controler*) vai permitir o funcionamento em dois modos diferentes: funcionamento manual e automático. O controlo do robô pode ser efectuado 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

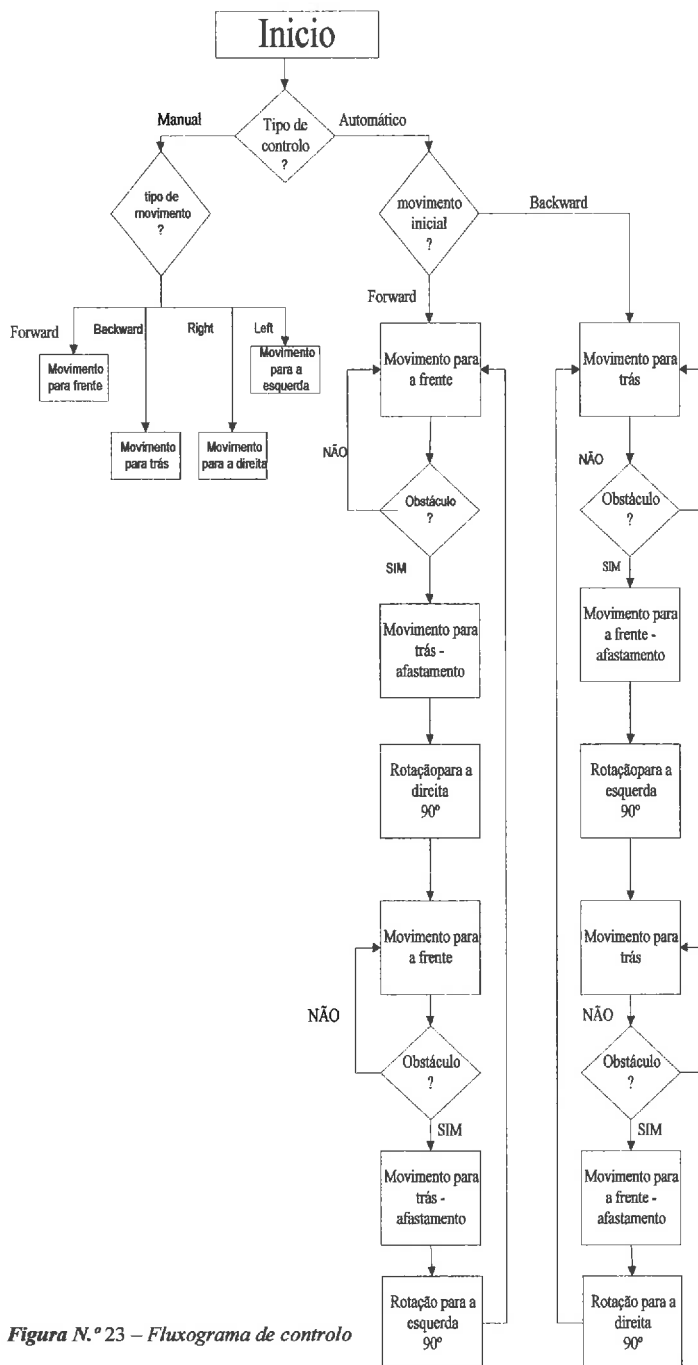


Figura N.º 23 – Fluxograma de controlo

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 24– 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.

Esta solução encontrada vai permitir ao robô rodar sobre si próprio. Várias soluções foram testadas, entre elas a simples inversão do sentido de rotação das pernas, mas verificava-se que a partir de certo momento ficavam apenas as duas pernas do centro em movimento provocando claramente o desequilíbrio do hexápode. É muito importante garantir a presença de três pernas no chão, por isso o desajuste inicial e depois o novo acerto, voltando ao estado normal de funcionamento.

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.

Na fig.25 Apresenta-se a configuração das cartas no que diz respeito ao tempo de aceleração e desaceleração.

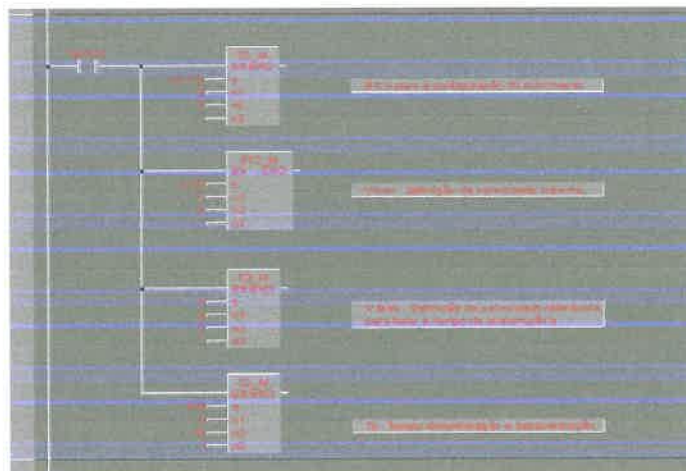


Figura N.º25 – Configuração do tempo de aceleração e desaceleração na carta de eixo

O tempo de aceleração e desaceleração depende da velocidade máxima e da velocidade Bias, ver anexo IV.

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.

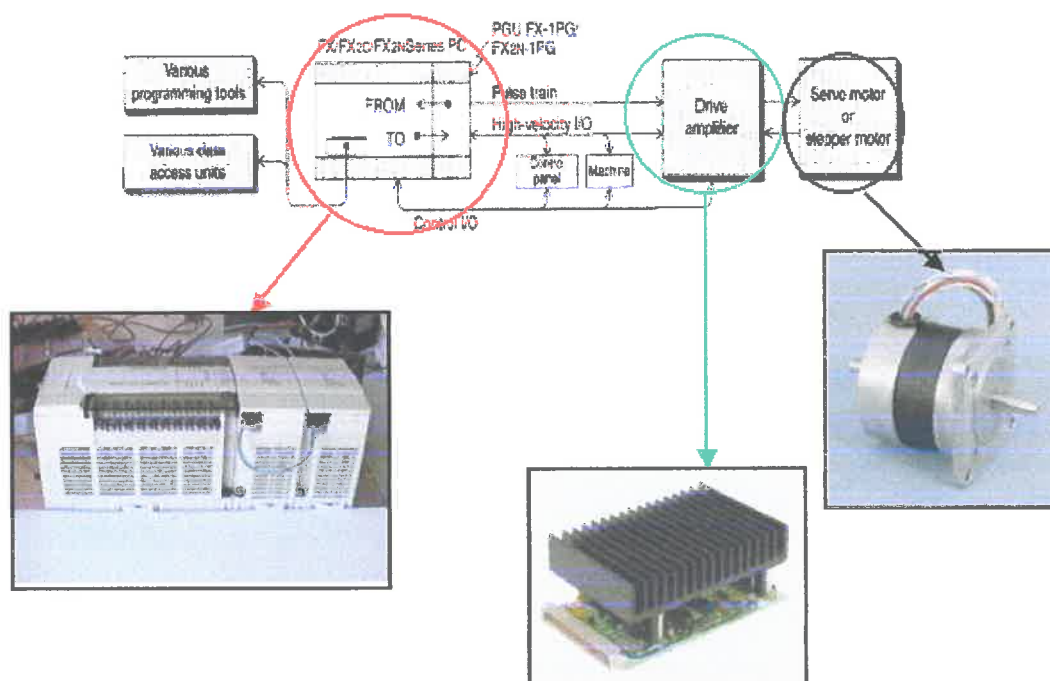


Figura N.º 26 – Comunicação entre componentes de controlo e actuação

Na figura 26 está a forma como se processa a troca de informação entre os equipamentos de controlo e actuação desde o envio e recepção de mensagens através das intruções FROM e TO, entre o PLC e as cartas de eixo, para depois o envio ás cartas de potência e posteriormente ao motor passo a passo.

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, tais como a definição do tempo de aceleração e desaceleração, a velocidade máxima, o tipo de operação requerida, ver ANEXO IV.

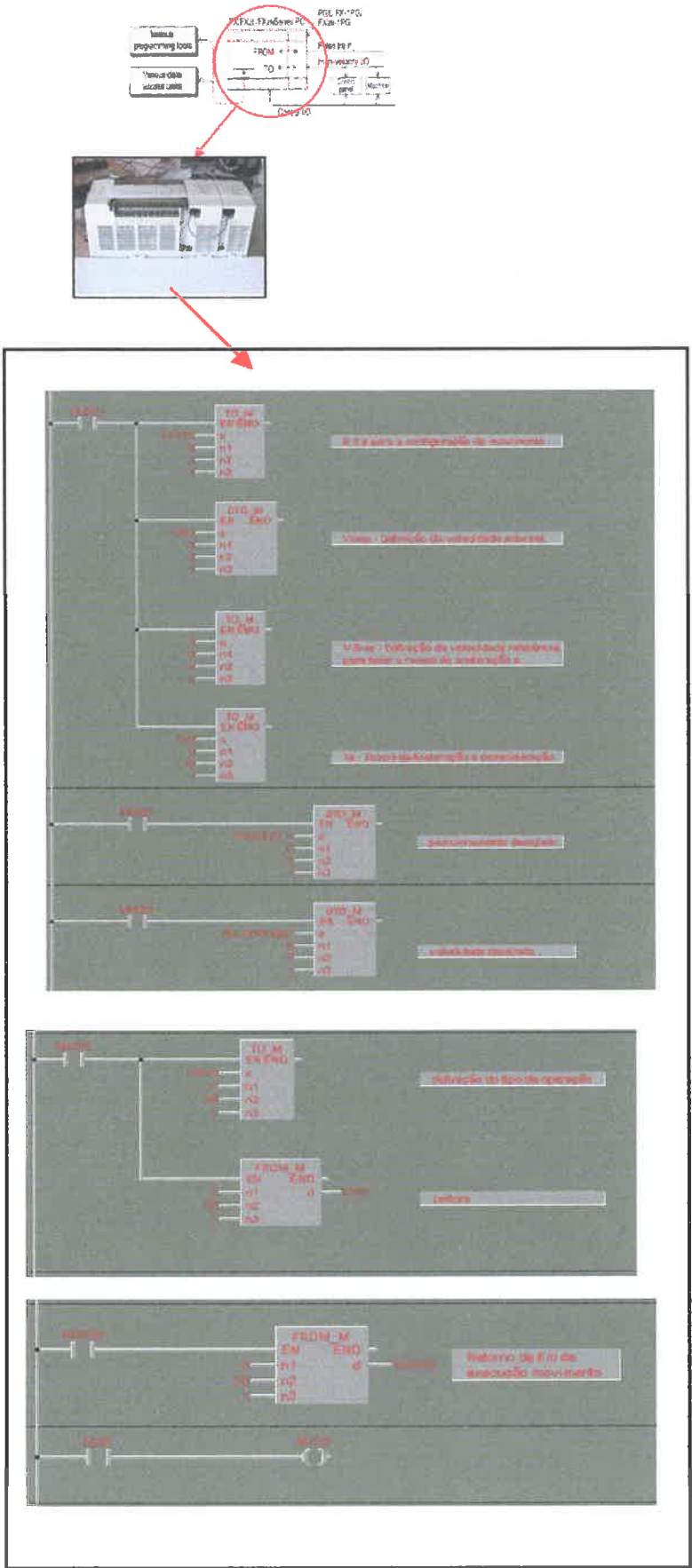


Figura N.º 27 – Configuração da carta de eixo

10. Manual de funcionamento

O manual de funcionamento vai permitir a um operador o funcionamento correcto do robô, é necessário seguir uma série de etapas consideradas importantes até ao perfeito comando.

1. Verificar **correcta ligação** das baterias e o seu estado.
2. Ligar baterias
3. Ligar robô
4. Escolher entre **funcionamento com consola ou painel**
5. Verificar o estado do PLC, **certificar que está em RUN**
6. Se escolher **painel**:
 - 6.1 - **Só efectua o modo de funcionamento manual**
 - 6.2 – Escolher o tipo de movimento
7. Se escolher consola:
 - 7.1 – Accionar consola no **botão on/off**
 - 7.2 – Escolher modo **manual e automático**

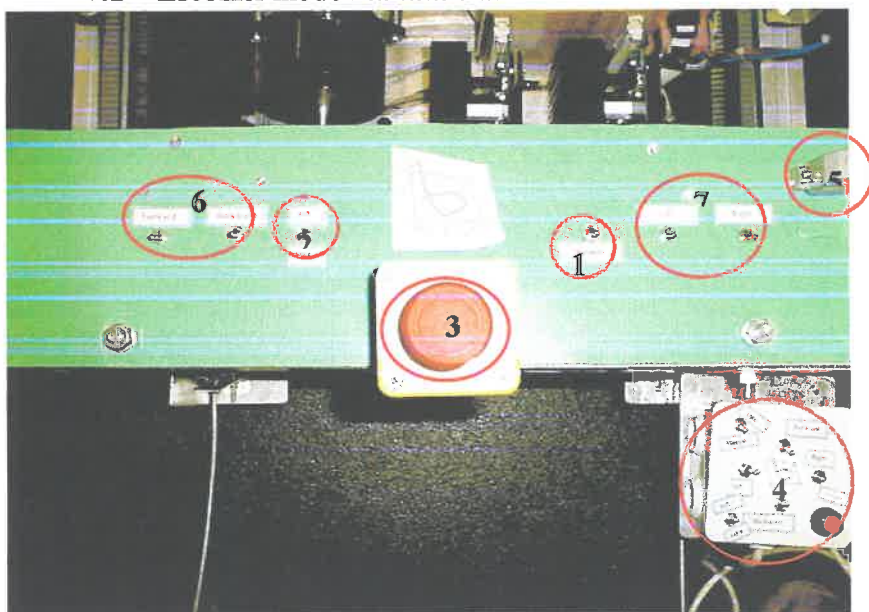


Figura N.º 27 – Dispositivos de comando

Legenda

- 1 – Ligar baterias
- 2 – Ligar robô
- 3 – Botão de emergência
- 4 – Consola
- 5 – Ficha de 15 pinos (escolha entre o funcionamento com consola ou com o painel)
- 6 – Movimento para a frente e para trás
- 7 – Movimento para a esquerda e direita

10. Conclusão e análise

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

É muito importante salientar que a unidade de deslocamento é o passo, 32 cm, que é um valor fixo, limitando a capacidade de manobra do robô, onde pequenos deslocamentos seriam necessários. A velocidade também constante é de cerca de 5 m/min.

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

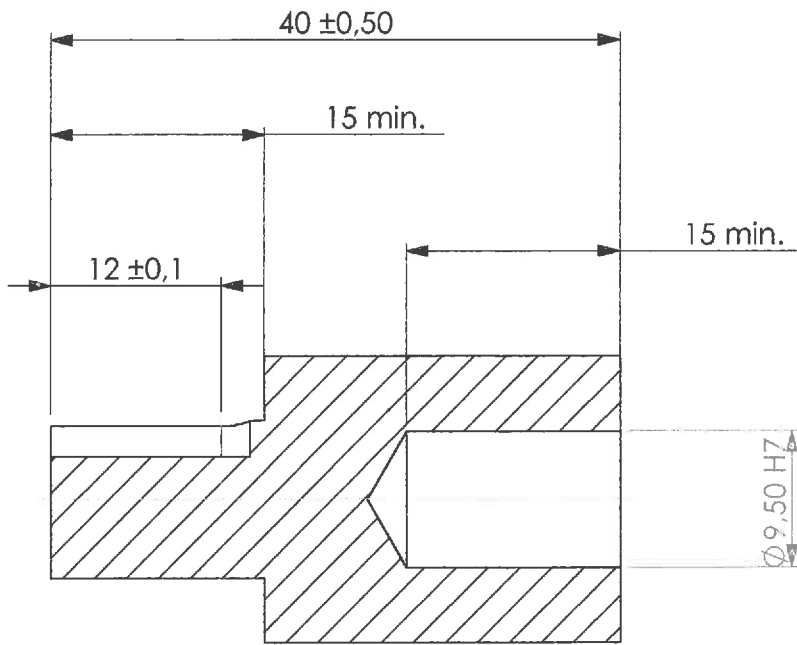
Electrónica Industrial – James T. Humphries, Leslie P. Sheets – Editorial Paraninfo, 1996

ANEXO I
(Desenho de definição)

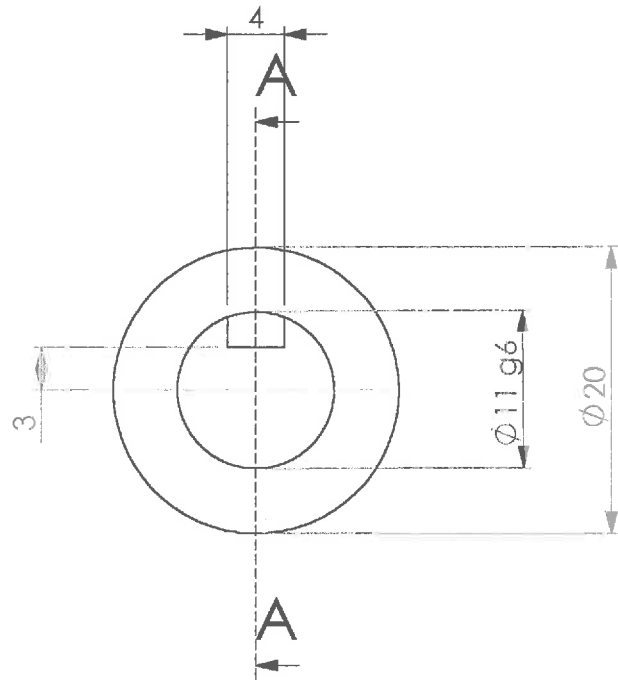
8 7 6 5 4 3 2 1

D

D



A-A



C

C

B

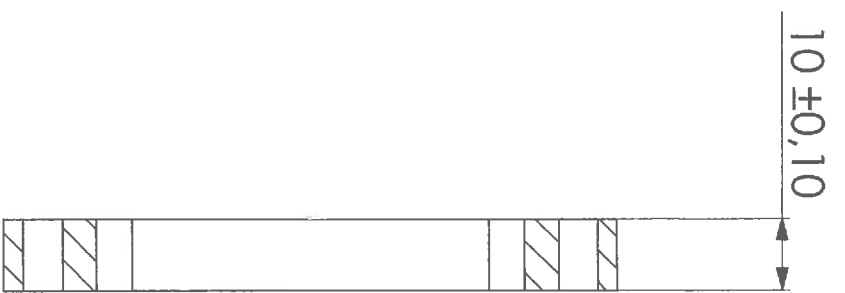
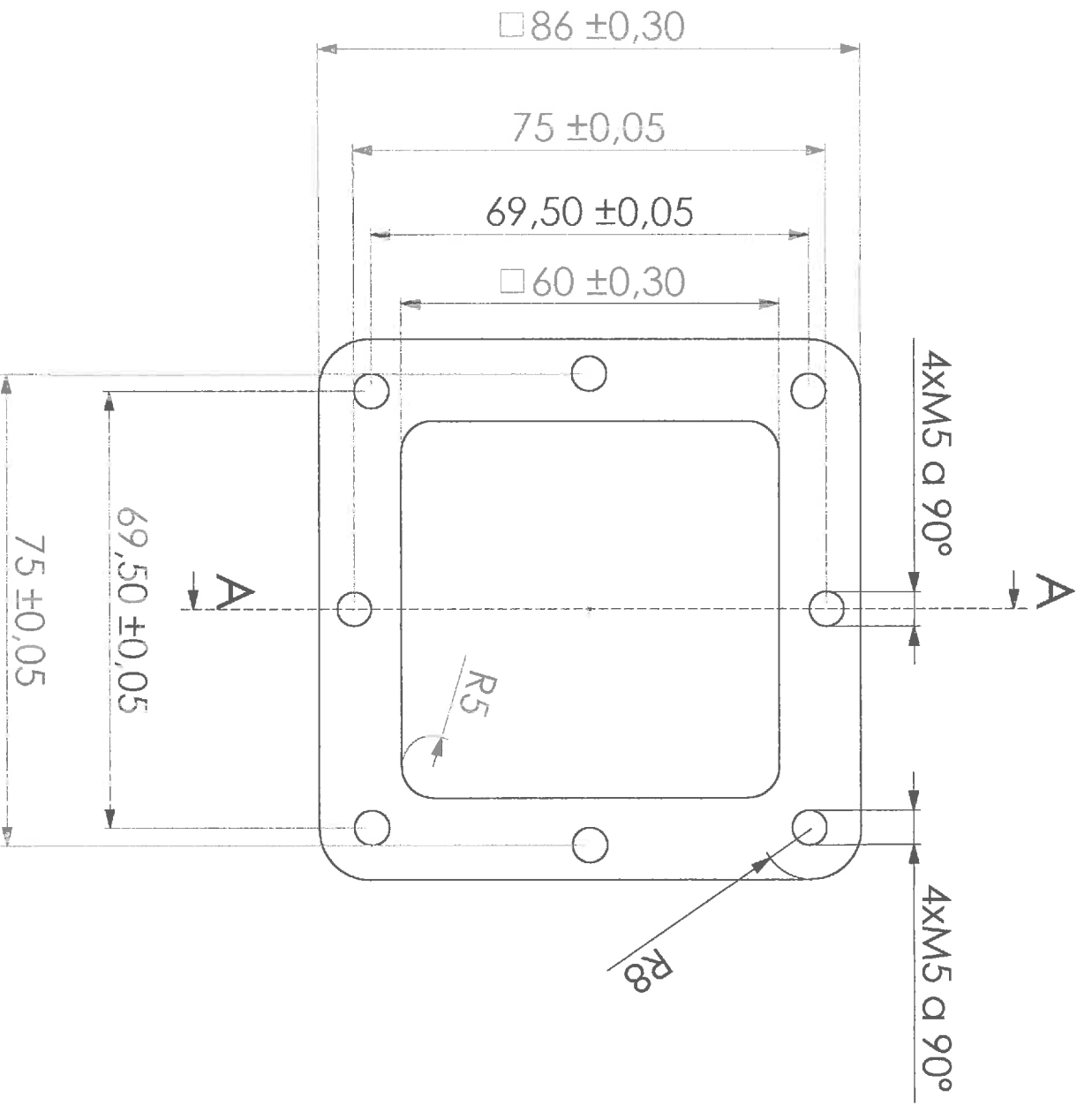
B

A

A

8 7 6 5 4 3 2 1

Para as superfícies maquinadas: Ra 3,2		CAD GENERATED DRAWING, DO NOT MANUALLY UPDATE		SAEM	
MATERIAL	FINISH	APPROVALS	DATE	DRAWN	CHECKED
		RUI Mendes			
		RESP ENG			
		MFG ENG			
		QUAL ENG			
DO NOT SCALE DRAWING		Ligação motor/redutor		Projecto Hexapode	
		SIZE	DWG. NO.	REV.	
		A4	1		
		SCALE	CAD FILE:	SHEET	OF
				1	



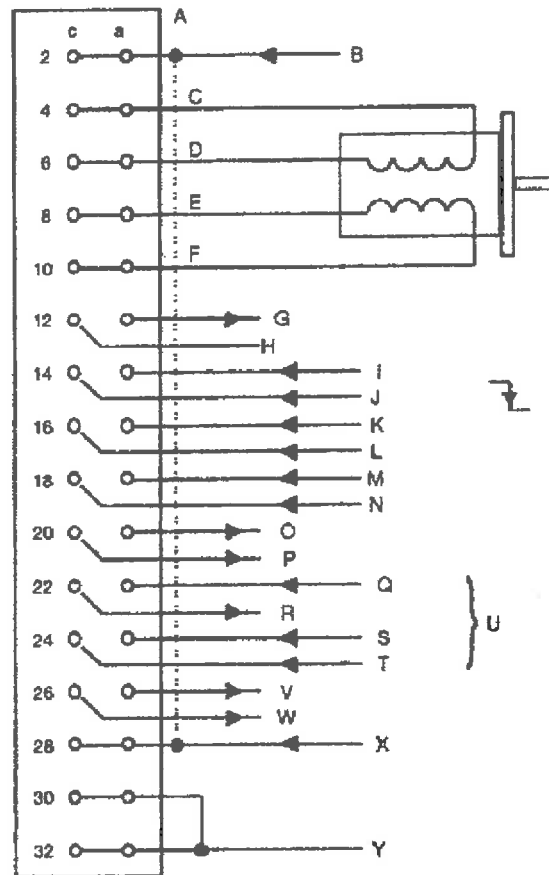
A-A

Tolerancia geral
ISO 8015; ISO 2768-mk

Placa de ligação

ANEXO II
(Esquema electrico)

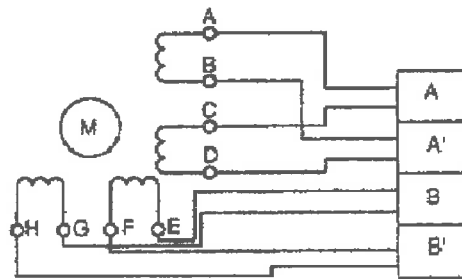
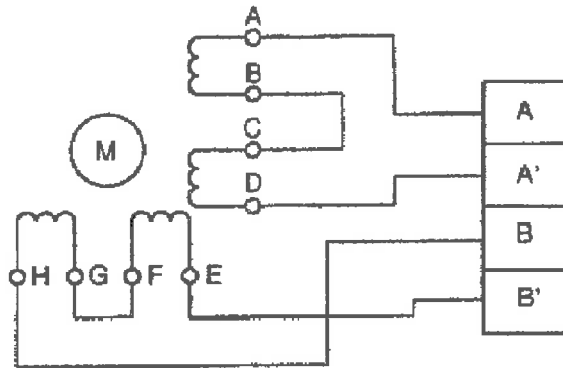
Unidade de potência – Esquema de ligação da interface



Legenda

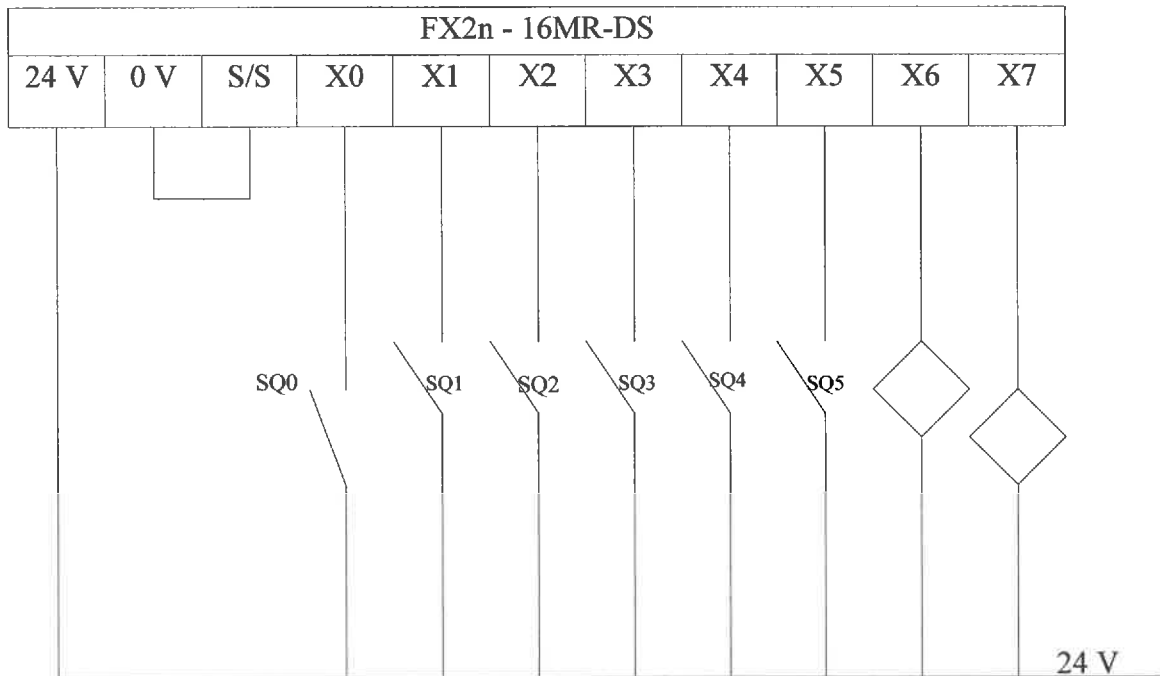
- A. If using common supplies ($\leq 24V$)
- B. Motor supply (+15V to +36Vdc)
- C. Phase A output
- D. Phase A' output
- E. Phase B output
- F. Phase B' output
- G. Sync input/output
- H. Home output
- I. Direction (CW/CCW)
- J. Step pulse input
- K. Full/half step input
- L. Reset input
- M. Output disable input
- N. Current program input
- O. Overload output
- P. Overtemperature output
- Q. VCO speed control input
- R. VCO pulse output
- S. VCO base speed input
- T. VCO run/stop input
- U. Where fitted
- V. Auxiliary +12V output (50mA maximum)
- W. Auxiliary +5V output (50mA maximum)
- X. Logic supply (+15 to +24Vdc)
- Y. 0V common

Esquema de ligação dos motores



	Position							
	A	B	C	D	E	F	G	H
RS stock no.								
440-442	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
440-458	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
440-464	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
440-470	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8378	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8384	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green

Esquema eléctrico das entradas no PLC



SQ0 - Detector fim de curso

SQ1 - Movimento para a frente

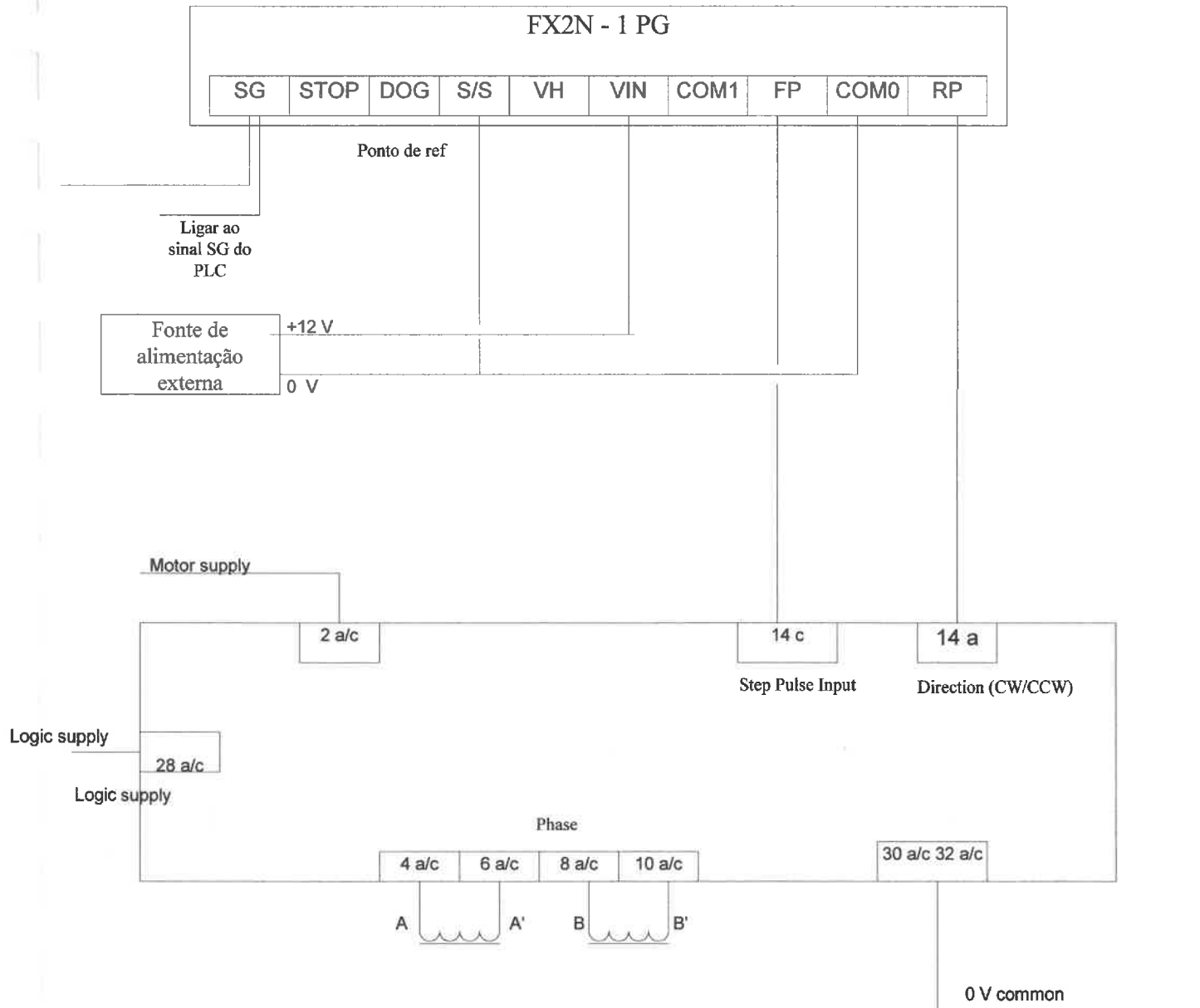
SQ2 - Movimento para trás

SQ3 - Manual / Automático

SQ4 - Movimento para a esquerda

SQ5 - Movimento para a direita

Ligação das cartas à unidade de potência



ANEXO III
(MatLab)

```

%-----
% função para calculo da derivada parcial da energia cinética em ordem ao teta
%sem planeamento da trajetória
%-----

```

```
function[DEc1]=DEcineticaSp(teta,Dteta)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g c s
```

```
A=2*k1*k1*s.*c*Dteta*Dteta;
```

```
B=( (-r*c.*Dteta)+(k3*c.*s*Dteta./ (sqrt(1-k2*c.*c))));
```

```
C=( (r*s.*Dteta)+((k3*c.*c*Dteta)./(sqrt(1-k2*c.*c)))-((k3*s.*s)./(sqrt(1-
k2*c.*c).*(1-k2*c.*c))));
```

```
DEc1=0.5*m*( (A+(2*(B.*C))));
```

```

%-----
% calculo da derivada parcial da energia Potencial em ordem ao teta
%com planeamento da trajetória
%-----

```

```
function[DEp]=DEpotencial(teta1)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g co so
```

```
DEp = m*g*(-r*co + L2*k2*co.*so./ (sqrt(1-k2*co.*co)));
```

```

%-----
% calculo da derivada parcial da energia Potencial em ordem ao teta
%sem planeamento da trajetória
%-----

```

```
function[DEp1]=DEpotencialSp(teta)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g c s
```

```
DEp1 = m*g*(-r*c + L2*k2*c.*s./ (sqrt(1-k2*c.*c)));
```

```

%-----

```

```

%-----
% calculo da derivada da derivada parcial da energia cinetica em ordem ao tempo
%com planeamento de trajetória
%-----

```

```
function[DDEc]=DDEcinetica(tetal,Dtetal,DDtetal)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g co so
```

```
A=(((k1*k1*so.*so)+(r*r*co.*co))-((2*k3*co.*co.*so)./(sqrt(1-
k2*co.*co)))+(k3*k3*co.*co.*so.*so)./(1-k2*co.*co)).*DDtetal);
```

```
B=(2*k1*k1*co.*so)-(2*r*r*co.*so)+((k3*k3*(2*co.*so.*(co.*co-so.*so))-
(2*k2*co.*co.*co.*co.*co.*co)./(1-k2*co.*co)).*(1-k2*co.*co)).*Dtetal.*Dtetal);
```

```
C=(-2*k3*((-2*so.*so.*co)+(k2*co.*co.*so.*so)+(co.*co.*co)-
(k2*co.*co.*co.*co.*co)./(sqrt(1-k2*co.*co)).*(1-k2*co.*co)).*Dtetal.*Dtetal);
```

```
DDEc=m*(A+B+C);
```

```

%-----
% calculo da derivada da derivada parcial da energia cinética em ordem ao tempo
%sem planeamento de trajetória
%-----

```

```
function[DDEc1]=DDEcineticaSp(teta,Dteta,DDteta)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g c s
```

```
A=(((k1*k1*s.*s)+(r*r*c.*c))-((2*k3*c.*c.*s)./(sqrt(1-
k2*c.*c)))+(k3*k3*c.*c.*s.*s)./(1-k2*c.*c)).*DDteta);
```

```
B=(2*k1*k1*c.*s)-(2*r*r*c.*s)+((k3*k3*(2*c.*s.*(c.*c-s.*s))-
(2*k2*c.*c.*c.*c.*c.*c)./(1-k2*c.*c)).*(1-k2*c.*c)).*Dteta.*Dteta);
```

```
C=(-2*k3*((-2*s.*s.*c)+(k2*c.*c.*s.*s)+(c.*c.*c)-(k2*c.*c.*c.*c.*c)./(sqrt(1-
k2*c.*c)).*(1-k2*c.*c)).*Dteta.*Dteta);
```

```
DDEc1=m*(A+B+C);
```

```

%-----
% função para calculo da derivada parcial da energia cinetica em ordem ao teta
%com planeamento da trajetória
%-----

```

```
function[DEc]=DEcinetica(tetal,Dtetal)
```

```
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g co so
```

```
A=2*k1*k1*so.*co.*Dtetal.*Dtetal;
```

```
B=(-r*co.*Dtetal)+(k3*co.*so.*Dtetal./sqrt(1-k2*co.*co));
```

```
C=((r*so.*Dtetal)+(k3*co.*co.*Dtetal)./(sqrt(1-k2*co.*co))),...
-((k3*so.*so)./(sqrt(1-k2*co.*co)).*(1-k2*co.*co)));
```

```
DEc=0.5*m*((A+(2*(B.*C))));
```

```

plot (t,T,'k')
title('Binário do Motor com planeamento'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('T(N.m)')
axis([0 1 -20 20])
grid on

```

```

figure(5) %-----

```

```

P = T .* Dteta;
plot (t,P,'k')
title('Potencia do Motor com planeamento'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('P (w)')
axis([0 1 -150 150])
grid on

```

```

%-----

```

```

% Sem planeamento de trajetoria

```

```

step = pi/100;
teta = pi:step:2*pi;
Dteta = 2*pi;           %Derivada de Teta = velocidade angular

```

```

c = cos(teta);
s = sin(teta);

```

```

figure(6) %-----

```

```

plot(t,teta,'b')
%axis equal
axis([0 1 3 6.5])
title('Variação do angulo'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('Ang(rad)')
grid on

```

```

figure(7) %-----

```

```

plot(t,Dteta,'b')
%axis equal
axis([0 1 0 7])
title('Velocidade Angular'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('W(rad/s)')
grid on

```

```

DDteta=0;
[DDEc1]=DDEcineticaSp(teta,Dteta,DDteta);
[DEc1]=DEcineticaSp(teta,Dteta);
[DEp1]=DEpotencialSp(teta);

```

```

T1 = DDEc1 - (DEc1 + DEp1)

```

```

figure(8) %-----

```

```

plot (t,T1,'k')
title('Binário do Motor - Sem Planeamento'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('T(N.m)')
axis([0 1 -20 20])
grid on

```

```

figure(9) %-----

```

```

P1 = T1 .* Dteta;
plot (t,P1,'k')
title('Potencia do Motor - Sem Planeamento'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('P (w)')
axis([0 1 -100 100])
grid on

```



```

%-----
%Programa para o estudo dinâmico do robô hexápode
%-----
clc
clear all
global r L2 m k1 k2 k3 k4 g co so c s
%-----

%Definição dos parametros conhecidos
r = 0.04; %raio do elo
L1 = 0.20; %comprimento da 1ª parte da pata
L2 = 0.20; %comprimento da 2ª parte da pata
g = 9.81; %aceleração da gravidade
m = 20; %peso total do robot

%Planeamento de trajetoria -----
figure(1) %-----
t = 0:1/100:1;

tetal = pi + 3*pi.*t.*t - 2*pi.*t.*t.*t;
ang = [tetal];

co = cos(tetal);
so = sin(tetal);

plot (t,ang,'r')
title('Variação do angulo do movimento planeado'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('Ang
(rad)')
axis([0 1 3 6.5])
%text(0.5,3.3,'Pi')
grid on

figure(2)%-----

Dtetal = 6*pi.*t - 6*pi.*t.*t;
Dang = [Dtetal];

plot (t,Dang,'m')
title('Velocidade Angular do movimento planeado'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('W
(rad/s)')
axis([0 1 0 10])
grid on

figure(3)%-----
DDtetal = 6*pi - 12*pi.*t;
plot (t,DDtetal,'g')
title('Aceleração Angular do movimento planeado'),xlabel('tempo (s)'),ylabel('dW
(rad/s^2)')
axis([0 1 -80 80])
grid on

figure(4)%-----
k1 = (L1+L2)*r/L1;
k2 = r^2/L1^2;
k3 = L2*k2;
k4 = 2*r*k3;

[DDEc]=DDEcinetica(tetal,Dtetal,DDtetal);
[DEc]=DEcinetica(tetal,Dtetal);
[DEp]=DEpotencial(tetal);

T = DDEc - (DEc + DEp)

```

ANEXO IV
(Cartas geradoras de pulsos)

5. BFM LIST
5.1 BFM List

*1 Unit is $\mu\text{m/R}$, mdeg/R or 10^{-4} inch/R.
*2 Unit is PLS, $\mu\text{m/R}$, mdeg/R or 10^{-4} inch depending on the system of units set in the BFM #3 b1 and b0.

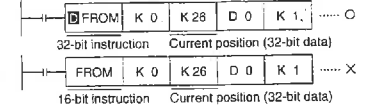
BFM No.	Higher 16 bits	Lower 16 bits	b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6		
#0			A						1 to 32,767 PLS/REV (Pulse/Revolution)					
#1			B						1 to 999,999 *1					
#2			Feed rate											
#3			STOP input mode	STOP input polarity	Count start timing	DOG input polarity		Home position return direction	Rotation direction	Pulse output format				
#4			V _{max}						10 to 100,000 Hz					
#5			V _{bia}						0 to 10,000 Hz					
#6			V _{Jog}						10 to 100,000 Hz					
#7			V _{RT}						10 to 100,000 Hz					
#8			V _{CR}						10 to 10,000 Hz					
#9			N											
#10			0 to 32,767 PLS											
#11			HP											
#12			0 to $\pm 999,999$ *2											
#13			Ta											
#14			50 to 5,000 ms											
#15			Acceleration/deceleration time											
#16			Reserved											
#17			P(I)						0 to $\pm 999,999$ *2					
#18			V(I)						10 to 100,000 Hz					
#19			P(II)						0 to $\pm 999,999$ *2					
#20			V(II)						10 to 100,000 Hz					
#21			Set position (I)											
#22			Set position (II)											
#23			Operating speed (I)											
#24			Operating speed (II)											
#25					Variable speed operation start	External command positioning start	Two speed positioning start	Interrupt single speed positioning start	Single speed positioning start	Relative / absolute position	Home position return start			
#26			CP Automatic writing -2,147,483,648 to 2,147,483,647											
#27			Current position											
#28									Positioning completed flag	Error flag	Current position value overflow			
#29			Error code is automatically written when error has occurred.											
#30			"5110" is automatically written.											
#31			Reserved											

*3 Only one bit among the BFM #25 b6 to b4 and b12 to b8 can be turned on. If two or more bits among them are turned on, no operation is performed.
*4 When data is written into the BFM #0, #1, #2, #3, #4, #5, #6 and #15, data is calculated inside the PGU during the first positioning operation. To save this processing time (500 ms maximum).

	b5	b4	b3	b2	b1	b0	R: For read W: For write
Initial value: 2,000 PLS/REV							
Initial value: 1,000 PLS/REV							
Position data multiplication 10^0 to 10^3			1	1			R/W
System of units (Motor system, Machine system, Combined system)							R/W
Initial value: 100,000 Hz							
Initial value: 0 Hz							
Initial value: 10,000 Hz							
Initial value: 50,000 Hz							
Initial value: 1,000 Hz							
Initial value: 10 PLS							
Initial value: 0							
Initial value: 100 ms							
Initial value: 0							
Initial value: 10 Hz							
Initial value: 0							
Initial value: 10 Hz							
JOG- operation							R/W
JOG+ operation							
Reverse pulse stop							
Forward pulse stop							
STOP							
Error reset							
PGO input ON							R
DOG input ON							
STOP input ON							
Home position return completed							
Reverse rotation/Forward rotation							
Ready							

- When the power of the PGU is turned off, the BFM data is cleared. When the power of the PGU is turned on, the initial values are entered to the BFMs.
- The BFMs #0, #1 and #2 are neglected when the BFM #3 (b1, b0) is set to the motor system.
- When each BFM is written or read, 16-bit data shall be written/read in the unit of 16 bits and 32-bit data shall be written/read in the unit of 32 bits.

< Reading of 32-bit data >



5.2 System of Units and Parameter Setting

[BFM #0] Pulse rate

A: 1 to 32,767 P/R

This is the number of input pulses required by the amplifier to rotate the motor by 1 revolution. It is not the number of encoder pulses per revolution of the motor. (The pulse rate becomes a different value in accordance with the electronic gear ratio.)

The BFM#0 is not required to be set when the motor system of units described later is selected.

[BFMs #2 and #1] Feed rate

B1 (distance specification) = 1 to 999,999 $\mu\text{m/R}$ B2 (angle specification) = 1 to 999,999 mdeg/R B3 (distance specification) = 1 to 999,999 $\times 10^{-4}$ inch/R

This is the machine travel B while the motor rotates by 1 revolution. Set either one among B1, B2 and B3 in accordance with the unit among $\mu\text{m/R}$, mdeg/R and 10^{-4} inch/R suitable to the application.

The BFMs #2 and #1 are not required to be set when the motor system of units described later is selected.

[BFM #3] Parameters (b0 to b15)

Set bits 0 to 15 as follows.

① System of units (b1, b0)

b1	b0	System of units	Remarks
0	0	Motor system	Units based on pulses
0	1	Machine system	Units based on lengths and angles
1	0	Combined system	Units based on lengths and angles for position units based on Hz for speed
1	1		

*1

*1 Offers the same operation.

The table below shows the units for position and speed in accordance with the setting of the BFMs #2 and #1 (feedrate).

	Selection of feedrate	Motor system	Combined system	Machine system
Position data*2	B1	PLS		μm
	B2	PLS		mdeg
	B3	PLS		10^{-4} inch
Speed data*3	B1		Hz	cm/min
	B2		Hz	10deg/min
	B3		Hz	inch/min

*2 Position data: HP, P(I), P(II), CP

*3 Speed data: V_{max} , V_{bit} , V_{dog} , V_{rt} , V(I), V(II)

② Multiplication of position data (b5, b4)

b5	b4	Multiplication
0	0	10^0
0	1	10^1
1	0	10^2
1	1	10^3

The position data HP, P(I), P(II) and CP will be multiplied by the value shown in the table on the left.

Example: When the value of the set position P(I) (BFMs #18 and #17) is 123 and the BFM #3 (b5, b4) is (1, 1), the actual position (or travel) becomes as follows:

Motor system of units	$123 \times 10^3 = 123,000$ (pulses)
Machine system of units	$123 \times 10^3 = 123,000$ ($\mu\text{m}, \text{mdeg}, 10^{-4}$ inch)
Combined system of units	$= 123$ ($\text{mm}, \text{deg}, 10^{-1}$ inch)

③ Pulse output format (b8)

The pulse output terminals FP and RP of the PGU change as follows in accordance with the setting (0 or 1) of b8.

• When b8 = 0: Forward pulse (FP) and reverse pulse (RP)



• When b8 = 1: Pulse (PLS) with direction (DIR)



④ Rotation direction (b9)

• When b9 = 0: The current position (CP) value increases with a forward pulse (FP).

• When b9 = 1: The current position (CP) value decreases with a forward pulse (FP).

This bit is used for the initial setting. The rotation direction is not required to be changed in every actual operation.

⑤ Home position return direction (b10)

• When b10 = 0: The current position (CP) value decreases during return to the home position.

• When b10 = 1: The current position (CP) value increases during return to the home position.

⑥ DOG input polarity (b12)

• When b12 = 0: The DOG (near point signal) input is turned on when the workpiece is coming near the home position.

• When b12 = 1: The DOG (near point signal) input is turned off when the workpiece is coming near the home position.

⑦ Count start point (b13)

See Sections 6.1.1 to 6.1.3.

This bit specifies the point at which counting of zero point signals is started.

- When b13 = 0: Counting of zero point signals is started when the DOG input is given (when DOG input is turned on if b12 is set to 0 or when DOG input is turned off if b12 is set to 1).
- When b13 = 1: Counting of zero point signals is started when the DOG input is given once, then stopped.

⑧ STOP input polarity (b14)

- When b14 = 0: The operation is stopped when the input is turned on (OFF during operation).
- When b14 = 1: The operation is stopped when the input is turned off (ON during operation).

This polarity changeover is valid exclusively for the STOP input in the PGU.

<Note> BFM #3

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Stop input mode	Stop input polarity	Count start point	Polarity of the DOG input	0	Home position return direction	Rotation direction	Pulse format	0	0	Multi- plication of position data	0	0	Unit system		

Write hexadecimal H□□□□ in BFM #3 in accordance with the 0 and 1 status of each bit. Set b2, b3, b6, b7 and b11 to 0.

⑨ STOP input mode (b15)

- When b15 = 0: The operation is interrupted when the stop command is given (from the PGU or the PC) during operation, then the operation for the remaining distance is restarted when the restart command is given. The Jog drive begins again when the stop command is turned off from turning on when the Jog command has been turned on.
 - However, if any BFM (except #25) is rewritten while operation is interrupted by the stop command, the operation for the remaining distance will not be performed. Write the BFMs by pulse operation (except the BFM #25).
- When b15 = 1: The operation for the remaining distance is not performed, but the next positioning is performed. The Jog drive begins again when the stop command is turned off from turning on when the Jog command has been turned on.

5.3 Speed Data and Position Data

[BFMs #5 and #4] Maximum speed V_{max}

Motor system and combined system:
10 to 100,000 Hz
Machine system: 1 to 153,000

This is the maximum speed. Make sure that the bias speed (BFM #6), the JOG speed (BFMs #7 and #8), the home position return speed (BFMs #9 and #10), the creep speed (BFM #11), the operating speed (I) (BFMs #19 and #20) and the operating speed (II) (BFMs #23 and #24) are set respectively to a value equivalent to or less than the maximum speed.

The degree of acceleration/deceleration is determined by this maximum speed, the bias speed (BFM #6) and the acceleration/deceleration time (BFM #15).

[BFM #6] Bias speed V_{bia}

Motor system and combined system:
0 to 10,000 Hz
Machine system: 0 to 15,300

This is the bias speed at time of start.

When the FX(2N)-1PG and the stepper motor are used together, set a value while taking the resonance area and the self-start frequency of the stepper motor into account.

[BFMs #8 and #7] JOG speed V_{JOG}

Motor system and combined system:
10 to 100,000 Hz
Machine system: 1 to 153,000

This is the speed for manual forward/reverse (JOG+/JOG-).

Set a value between the bias speed V_{bia} and the maximum speed V_{max} .

[BFMs #10 and #9] Home position return speed (high speed) V_{ar}

Motor system and combined system:
10 to 100,000 Hz
Machine system: 1 to 153,000

This is the speed (high speed) for returning to the machine home position. Set a value between the bias speed V_{bia} and the maximum speed V_{max} .

[BFM #11] Home position return speed (creep) V_{ca}

Motor system and combined system:
10 to 10,000 Hz
Machine system: 1 to 15,300

This is the speed (extremely slow speed) after the near point signal (DOG) for returning to the machine home position.

It is the speed immediately before stopping in the machine home position. It is recommended to set it as slow as possible so that the precision of the home position becomes better.

[BFM #12] Number of zero point signals for home position return N

0 to 32,767 PLS

This is the number of zero point signals counted for returning to the machine home position.

When the zero point signal is not used and the machine should be stopped immediately by only the DOG input, set the BFM #12 to 0. However, pay rigid attention so

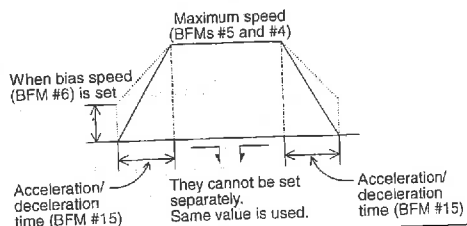
that the machine is not damaged when it is immediately stopped from high-speed operation.

[BFMs #14 and #13] Home position HP
 Motor system: 0 to ±999,999 PLS
 Machine system and combined system: 0 to ±999,999

This is the home position used for returning to the machine home position.
 When the home position return operation is completed, the value set here is written to the current position (BFMs #26 and #27).

[BFM #15] Acceleration/deceleration time Ta
 50 to 5,000 ms

This is the time between the bias speed (BFM #6) and the maximum speed (BFMs #5 and #4).
 The degree of acceleration/deceleration is determined by the maximum speed, the bias speed and the acceleration/deceleration time.



MITSUBISHI

[BFMs #18 and #17] Set position (I) P(I)
 Motor system: 0 to ±999,999 PLS
 Machine system and combined system: 0 to ±999,999

This is the target position or the travel distance for operation.

When the absolute position is used, the rotation direction is determined in accordance with the absolute value of the set position based on the current position (BFMs #26 and #27).

When the relative position is used, the rotation direction is determined by the sign of the set position.

[BFMs #20 and #19] Operating speed (I) V(I)
 Motor system and combined system: 10 to 100,000 Hz
 Machine system: 1 to 153,000

This is the actual operating speed within the range between the bias speed V_{bias} and the maximum speed V_{max} .

In variable speed operation and external command positioning operation, forward rotation or reverse rotation is performed in accordance with the sign (positive or negative) of this set speed.

[BFMs #22 and #21] Set position (II) P(II)
 Motor system: 0 to ±999,999 PLS
 Machine system and combined system: 0 to ±999,999

This is the set position for the second speed in two-speed positioning operation.

[BFMs #24 and #23] Operating speed (II) V(II)

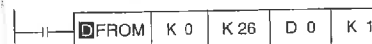
Motor system and combined system: 10 to 100,000 Hz
 Machine system: 1 to 153,000

This is the second operating speed in two-speed positioning operation within the range between the bias speed V_{bia} and the maximum speed V_{max} .

[BFMs #27 and #26] Current position CP

Motor system: -2,147,483,648 to +2,147,483,647 Hz
 Machine system and combined system: -2,147,483,648 to +2,147,483,647

The current position data is automatically written here.
 When the value set here is read by the PC for monitoring, make sure to read it in the unit of 32 bits.



32-bit instruction

< Conversion of system of units >

The following relationship is present between the motor system of units and the machine system of units. They are automatically converted each other.

$$\begin{matrix} \text{Speed command} \\ \text{cm/min, 10deg/min, inch/min} \end{matrix} \times \frac{A \times 10^4}{B1, B2 \text{ or } B3} = \text{Speed command (Hz) } \times 60$$

A indicates the pulse rate. B1 to B3 indicate the feedrate. PPS indicates the pulses per second.

When setting the speed data using the machine system of units, make sure that the value converted into pulses is within the range determined for the motor system and the combined system (Hz).

< Stepwise speed command value >

The frequency f of the pulse generated in the PGU is stepwise as follows.

$$f = \frac{1}{0.25n} \times 10^6 = 10 \text{ to } 100,000 \text{ Hz}$$

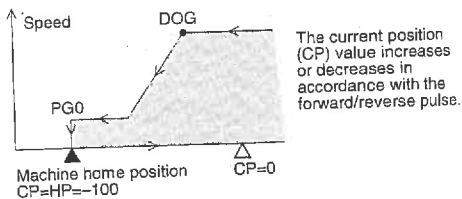
Where, n : Integer in range of 40 to 400,000
 For example, in the case of $n = 40$, $f = 100,000$ Hz
 in the case of $n = 41$, $f = 97,560$ Hz

Any pulse whose frequency is between the two values above cannot be generated.

MITSUBISHI

5.4 Position Data, Home Position and Current Position

- The position data includes the following:
HP: Home position, P(I): Set position (I), P(II): Set position (II) and CP: Current position
The unit and the multiplication of each item are described in Section 5.2.
- When the operation of returning to the machine home position is completed, the home position HP (BFMs #14 and #13) value is automatically written to the current position CP (BFMs #27 and #26). The figure below shows the CP value when the home position HP is -100.



- The set positions P(I) and P(II) can be treated as absolute positions (distance from the current position CP = 0) or relative positions (travel from the current stop position) as described later.

< Error in command between the machine system of units and the combined system of units >

When the pulse rate of the BFM #0 (#2, #1) is supposed the pulse rate as A, the feedrate as B and the relative travel distance as C, the value " $C \times (A/B)$ " indicates the pulse quantity which should be generated by the PGU. Even if the value " (A/B) " is not an integer, error is not generated in the command if the value " $C \times (A/B)$ " is an integer.

However, if the value " $C \times (A/B)$ " is not an integer, accumulated error is generated in the current position when relative movement is repeated. When the absolute is used for operation, an error less than 1 pulse may be generated by counting fractions over 1/2 as one and disregarding the rest, but accumulated error is not generated.

When the motor system of units is used, such an accumulated error is not generated.

5.5 Operation Command

[BFM #25] Operation command (b0 to b11, b12)
After data is written to the BFM #0 to #24, write the BFM #25 (b0 to b12) as follows.

- [b0] When b0 = 1: Error reset
The error flag (BFM #28 b7) described later is reset. When the error occurs, the positioning completion signal (BFM #28 b8) is reset.
- [b1] When b1 = 0 → 1: Stop
This bit functions in the same way with the STOP input in the PGU, but the stop operation can be performed from the sequence program in the PC.
However, if this bit is changed from 0 to 1 before the STOP input is given in the PGU in the external command positioning mode, the machine is decelerated and stopped.
- [b2] When b2 = 1: Forward pulse stop
The forward pulse is immediately stopped in the forward limit position.
- [b3] When b3 = 1: Reverse pulse stop
The reverse pulse is immediately stopped in the reverse limit position.
- [b4] When b4 = 1: JOG+ operation
When b4 continues to be 1 for less than 300 ms, one forward pulse is generated.
When b4 continues to be 1 for 300 ms or more, continuous forward pulses are generated.
- [b5] When b5 = 1: JOG- operation
When b5 continues to be 1 for less than 300 ms, one reverse pulse is generated.
When b5 continues to be 1 for 300 ms or more, continuous reverse pulses are generated.
- [b6] When b6 = 0 → 1: Home position return start
The machine starts to return to the home position, and is stopped at the machine home position when the DOG input (near point signal) or the PGO (zero point signal) is given.
- [b7] When b7 = 0: Absolute position
When b7 = 1: Relative position
The relative or absolute position is specified in accordance with the b7 status (1 or 0). (This bit is valid while operation is performed using b8, b9 or b10.)
- [b8] When b8 = 0 → 1: Single-speed positioning operation start
Single-speed positioning operation is performed.
For the details, see Section 6.2.
- [b9] When b9 = 0 → 1: Interrupt single-speed positioning operation start
Interrupt single-speed positioning operation is performed.
For the details, see Section 6.2.
- [b10] When b10 = 0 → 1: Two-speed positioning operation start
Two-speed positioning operation is performed.
For the details, see Section 6.3.

[b11] When b11 = 0 → 1: External command positioning operation start

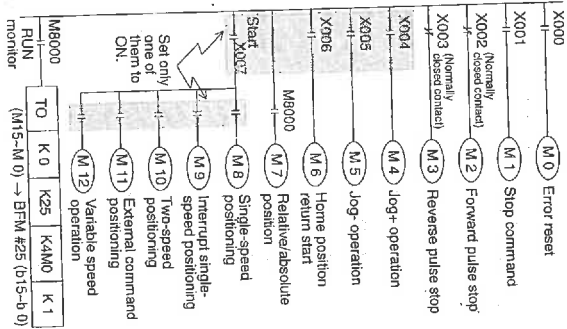
External command positioning operation is performed. The rotation direction is determined by the sign of the speed command.

For the details, see Section 6.3.

[b12] When b12 = 1: Variable speed operation

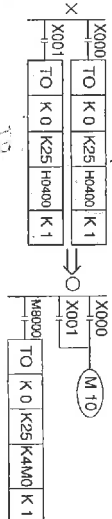
Variable speed operation is performed. For the details, see Section 6.4.

< Operation command data transfer method >



5-11

- Error can be reset by forcibly turning on/off the peripheral unit. The input X000 does not have to be used.
- When the data on absence/presence of error and the error code should be saved even after power interrupt, use the auxiliary relays or data registers backed up by the battery.
- The stop command is generally provided in the PGU, and is also output from the sequence program in the PC. In such a case, the input X001 is not required.
- In operation which does not require returning to the home position such as inching operation with a constant feedrate, the input X006 is not required.
- When which one between the relative and absolute positions should be used is always determined, drive the M7 using the M8000 or set the M7 always to OFF.
- Drive one of the M8 to M12 using the M8000. If two or more of them are turned on, operation is



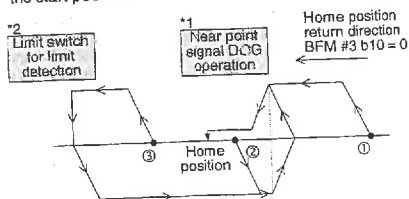
- disabled. (See Section 6.4.)
- As the general start command, create an appropriate sequence using the input X007 to drive the M8 to M12. (See Section 9.1.)
- The time after the FX_{2N}-1PG receives the start command until it generates a pulse is approximately 10 ms usually. However, 500 ms maximum is required for the first operation after the PC starts running or for the first operation after the BFM#0, #1, #2, #3, #4, #5, #6 or #15 is written.
- The TO instruction is a write instruction from the PC to the BFM. In the example on the left, the PGU is connected as a special unit in the position nearest the main unit.
- In the program below, the start bit for the operation mode cannot be set to OFF inside the PGU, so operation from the second time and later cannot be performed. Correct it as shown in the right.

5-12

6.1.4 Home Position Return Operation

< Home position return operation >

The home position return operation varies depending on the start position.



- ① The near point signal is turned off (before the DOG passes).
- ② The near point signal is turned on.
- ③ The near point signal is turned off (after the DOG has passed).
For this operation, the limit switches for detecting the forward limit and the reverse limit should be provided on the PC.
When the limit switch for limit detection is actuated, the home position return operation is not performed even if the home position return operation is started. Move the dog by performing the JOG operation so that the limit switch for limit detection is not actuated, then start the home position return operation.

- *1 The example above shows the case where the BFM #3 b12 is set to 0 (DOG input polarity OFF → ON).
- *2 When the limit switch for limit detection is turned on, the pulse output is immediately stopped (BFM #25 b3: ON). At this time, the clear signal is also output.



< When the stepper motor is used >

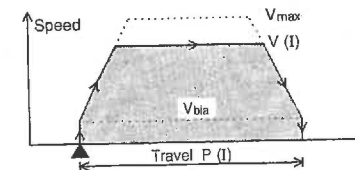
When the stepper motor is used, rigid attention should be paid to the following items.

- ① If the motor capacity is not sufficient compared with the load torque, the motor may stall. In such a case, even if the specified quantity of pulses are supplied to the motor, the expected drive quantity may not be obtained.
- ② Start and stop the motor slowly enough (by setting a long acceleration/deceleration time to the BFM #15) so that the acceleration/deceleration torque does not become excessive.
- ③ A resonance point is present in low speed operation. It is recommended to avoid this point. Set the bias speed (BFM #6), and do not perform operation at a speed slower than that.
- ④ An external power supply may be required for signal communication with the drive amplifier.

6.2 Single-Speed Positioning Operation and Interrupt Single-Speed Positioning Operation

■ Single-speed positioning operation

When the single-speed positioning operation command is received, the motor performs the following operation.

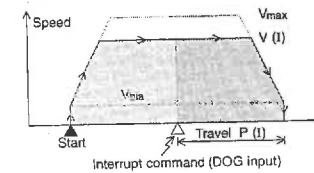


When the start command is given, the motor accelerates up to the operating speed $V(I)$ (BFMs #20 and #19), then decelerates and stops in the set position $P(I)$ (BFMs #18 and #17).

The absolute position from the point at which the current position CP becomes 0 (electric home position) or the relative position from the start position can be specified as the set position. When a servo motor is used, V_{bia} is generally set to 0.

■ Interrupt single-speed positioning operation

When the interrupt single-speed positioning operation command is received, the motor performs the following operation.



The interrupt command is connected to the DOG input in the PGU.

When the start command is received, the motor starts operation. When the INTERRUPT input is received, the motor moves by the specified distance, then stops (The relative travel exclusively can be specified.)

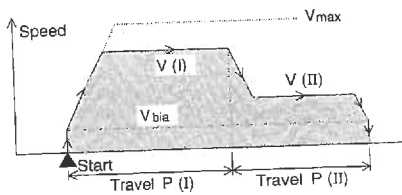
The current value is cleared by the start command. The current value starts to change by the INTERRUPT input, and becomes equivalent to the set position when the operation is completed.

Accordingly, rigid attention should be paid when operations using absolute position specification are performed also.

6.3

Two-Speed Positioning Operation and External Command Positioning Operation**Two-speed positioning operation**

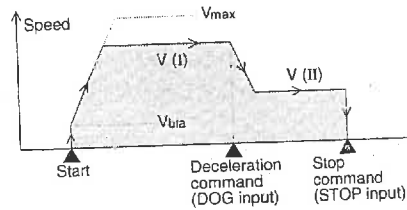
The motor performs the following operation by the two-speed positioning operation command. Approach at high speed as well as processing and moving forward at low speed can be performed.



When the start command is received, the motor performs positioning at the operating speed V(I) (BFMs #20 and #19) until the set position P(I) (BFMs #18 and #17), then at the operating speed V(II) (BFMs #24 and #23) until the set position P(II) (BFMs #22 and #21) (two-step speed).

External command positioning operation

Commands for determining the deceleration start point and the stop point are given from the external limit switches. The PGU does not control the pulse quantity, and positioning is performed by the two-step speed technique.

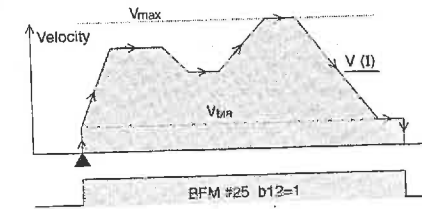


When the start command is received, the motor performs positioning at the operating speed V(I) (BFMs #20 and #19) until the deceleration command is received. When the deceleration command is received, the motor decelerates to the operating speed V(II) (BFMs #24 and #23). When the stop command is received, pulse generation is stopped immediately. The rotation direction is determined by the sign (positive or negative) of the speed command V(I).

6.4 Variable Speed Operation

Variable speed operation

- When the operation command BFM #25 b12 is set to 1, the speed pulses specified in the BFMs (#20 and #19) are generated.
- This operating speed can be freely changed even while pulses are generated. However, because there is no cushion start/stop function, acceleration and deceleration must be controlled by the PC.
- Only b0 (error reset) and b12 (variable speed operation) of the operation command BFM #25 are valid in this mode. Set b1 to b11 to 0. When b12 is set to 1, variable speed operation is performed. When b12 is set to 0, pulse output is stopped.
- As for the parameter BFM #3, only b1 and b0 (system of units) and b8 (pulse output format) are valid.
- The rotation direction (forward or reverse) can be specified by the sign (positive or negative) of the speed command (BFMs #20 and #19).



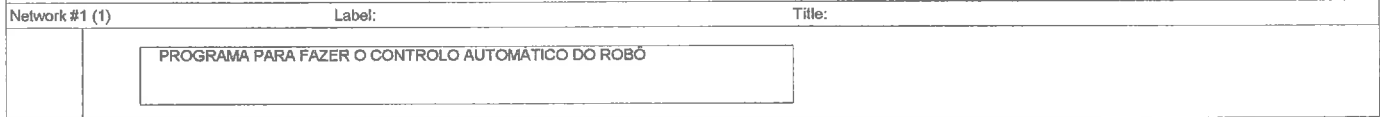
ANEXO V
(Programa Automato)

--	--	--

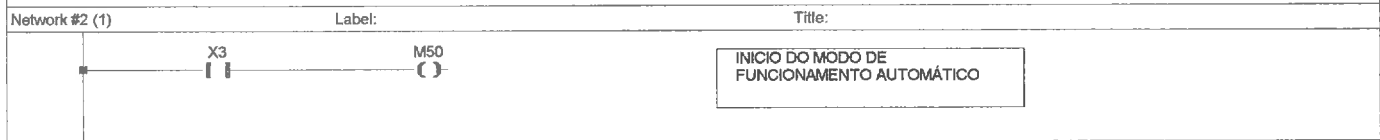
AUTOM [PRG] Header

	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	POSICIONAMENTO DO MOTOR1
1	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	POSICIONAMENTO DO MOTOR2
2	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	VELOCIDADE DO MOTOR1
3	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	VELOCIDADE DO MOTOR2
4	VAR_EXTERNAL	TC_13	BOOL	FALSE	
5	VAR_EXTERNAL	TC_14	BOOL	FALSE	
6	VAR_EXTERNAL	TC_15	BOOL	FALSE	
7	VAR_EXTERNAL	TC_16	BOOL	FALSE	
8	VAR_EXTERNAL	TC_17	BOOL	FALSE	
9	VAR_EXTERNAL	TC_18	BOOL	FALSE	
10	VAR_EXTERNAL	TC_19	BOOL	FALSE	
11	VAR_EXTERNAL	TC_20	BOOL	FALSE	
12	VAR_EXTERNAL	TN_13	INT	0	
13	VAR_EXTERNAL	TN_14	INT	0	
14	VAR_EXTERNAL	TN_15	INT	0	
15	VAR_EXTERNAL	TN_16	INT	0	
16	VAR_EXTERNAL	TN_17	INT	0	
17	VAR_EXTERNAL	TN_18	INT	0	
18	VAR_EXTERNAL	TN_19	INT	0	
19	VAR_EXTERNAL	TN_20	INT	0	
20	VAR_EXTERNAL	TS_13	BOOL	FALSE	
21	VAR_EXTERNAL	TS_14	BOOL	FALSE	
22	VAR_EXTERNAL	TS_15	BOOL	FALSE	
23	VAR_EXTERNAL	TS_16	BOOL	FALSE	
24	VAR_EXTERNAL	TS_17	BOOL	FALSE	
25	VAR_EXTERNAL	TS_18	BOOL	FALSE	
26	VAR_EXTERNAL	TS_19	BOOL	FALSE	
27	VAR_EXTERNAL	TS_20	BOOL	FALSE	

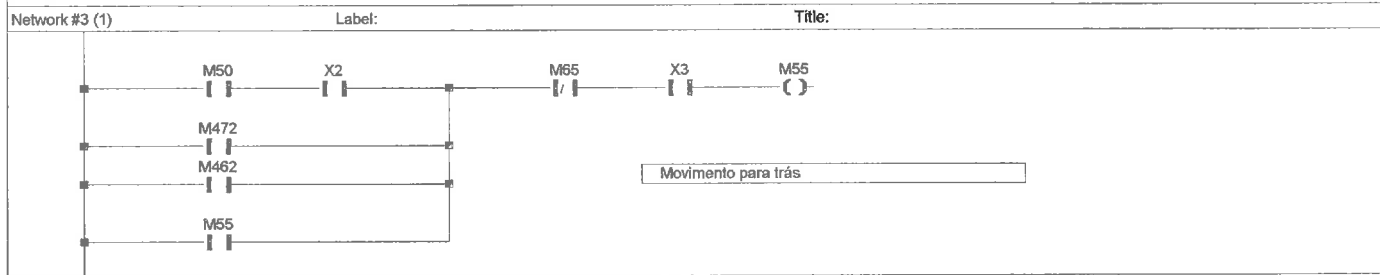
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #1



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #2



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #3



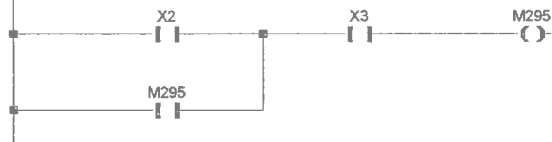
				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\WMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Header
				Appr.		Page: 1
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #4

Network #4 (1)

Label:

Title:

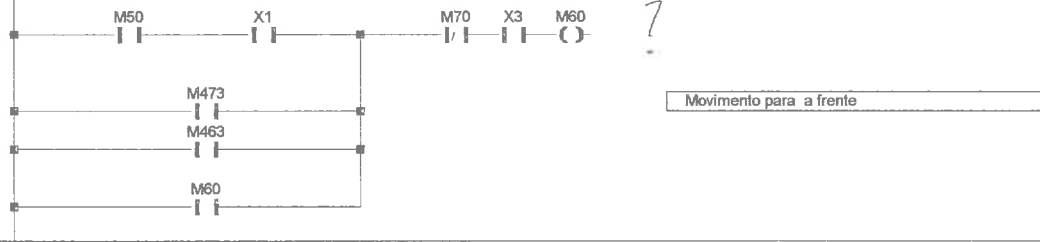


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #5

Network #5 (1)

Label:

Title:

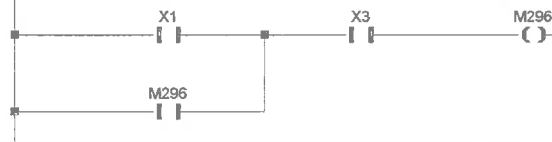


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #6

Network #6 (1)

Label:

Title:

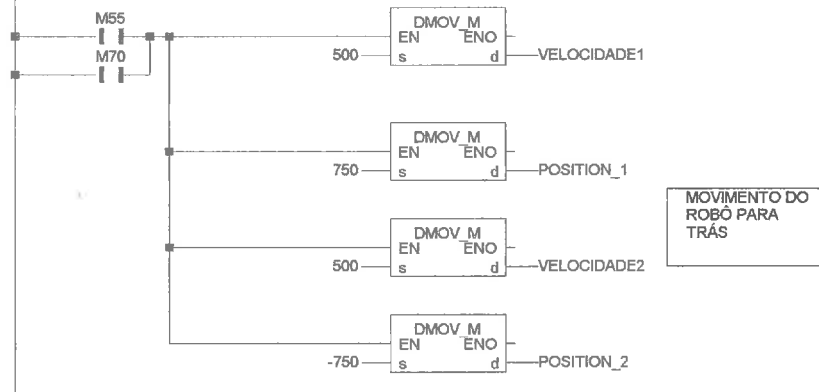


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #7

Network #7 (1)

Label:

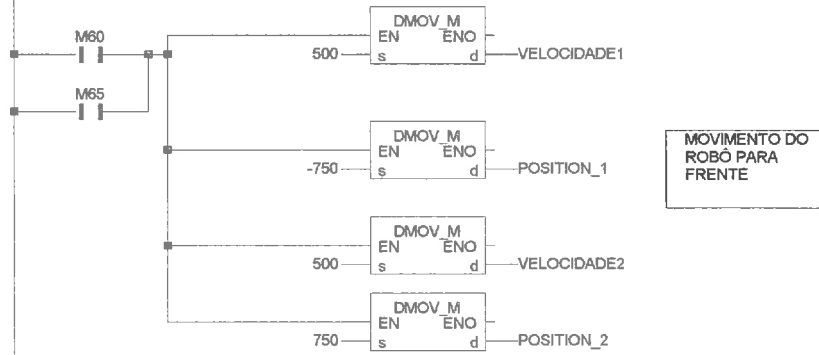
Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\WMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #4
				Appr.		Page: 2
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #8

Network #8 (1) Label: Title:



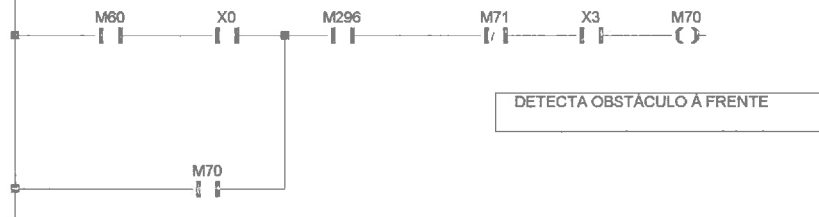
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #9

Network #9 (1) Label: Title:

DETECÇÃO DE OBSTACULOS

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #10

Network #10 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #11

Network #11 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #12

Network #12 (1) Label: Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #8
				Appr.		Page: 3
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

--	--	--

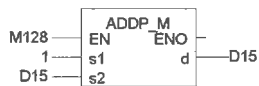
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #13

Network #13 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #14

Network #14 (1) Label: Title:



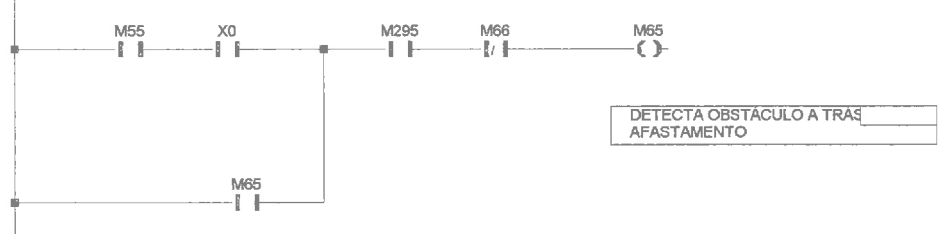
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #15

Network #15 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #16

Network #16 (1) Label: Title:



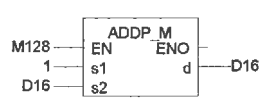
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #17

Network #17 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #18

Network #18 (1) Label: Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\WMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #13
				Appr.		Page: 4
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #19

Network #19 (1)

Label:

Title:

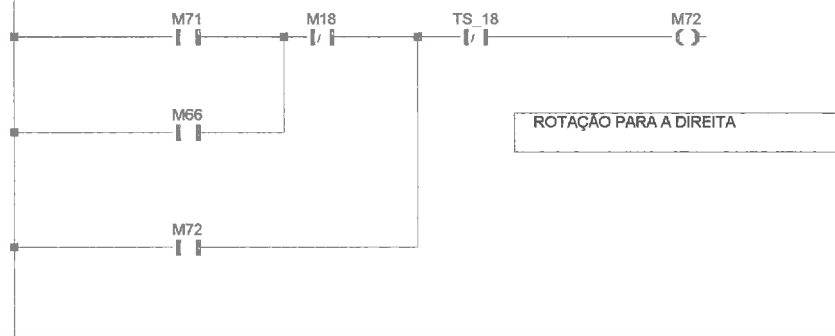


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #21

Network #21 (1)

Label:

Title:

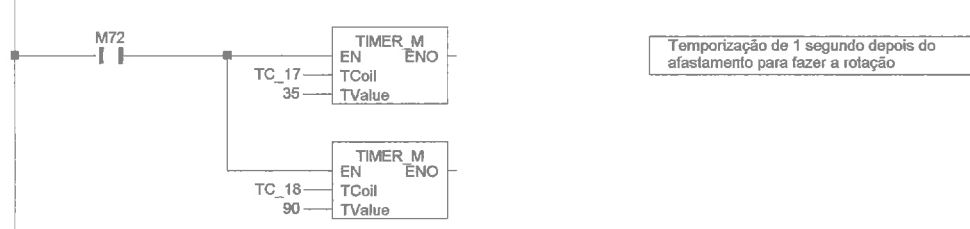


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #22

Network #22 (1)

Label:

Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #23

Network #23 (1)

Label:

Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #24

Network #24 (1)

Label:

Title:

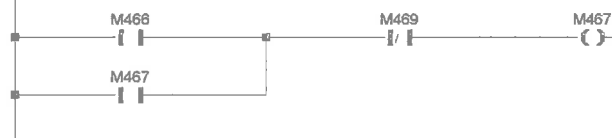


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #25

Network #25 (1)

Label:

Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #19
				Appr.		Page: 5
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #26

Network #26 (1) Label: Title:



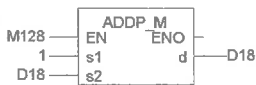
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #27

Network #27 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #28

Network #28 (1) Label: Title:



incrementa D18 sempre que a energia (M128)

D18 é parte a 0 e comparado com 2

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #29

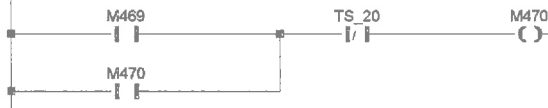
Network #29 (1) Label: Title:



!!!

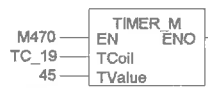
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #30

Network #30 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #31

Network #31 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #32

Network #32 (1) Label: Title:

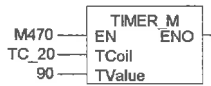


				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #26
				Appr.		Page: 6
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

--	--	--

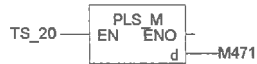
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #33

Network #33 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #34

Network #34 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #35

Network #35 (1) Label: Title:



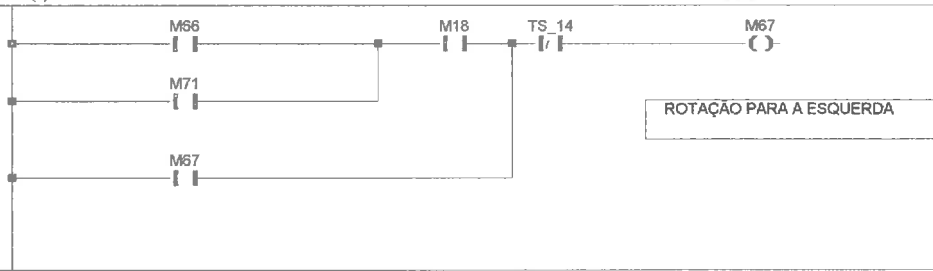
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #36

Network #36 (1) Label: Title:



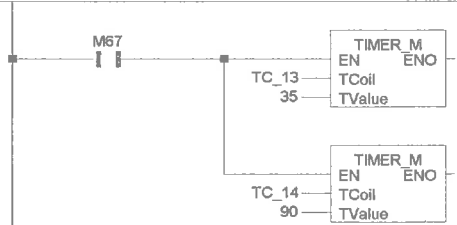
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #38

Network #38 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #39

Network #39 (1) Label: Title:



				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			AUTOM [PRG] Body [LD] Network #33
				Appr.			Page: 7
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

--	--	--

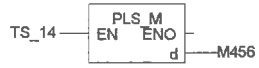
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #40

Network #40 (1) Label: Title:



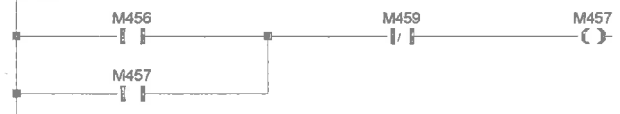
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #41

Network #41 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #42

Network #42 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #43

Network #43 (1) Label: Title:



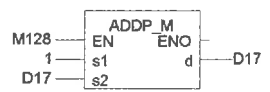
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #44

Network #44 (1) Label: Title:



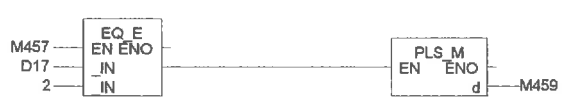
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #45

Network #45 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #46

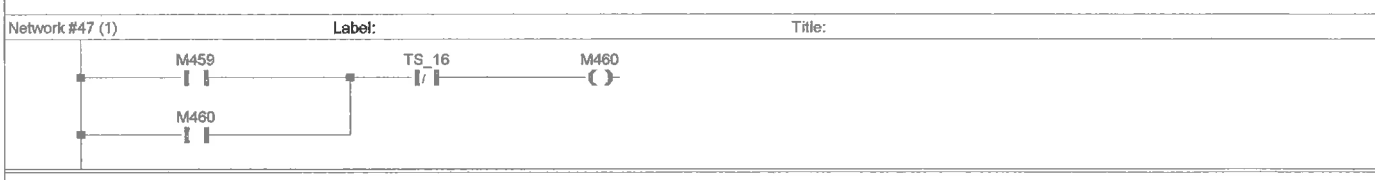
Network #46 (1) Label: Title:



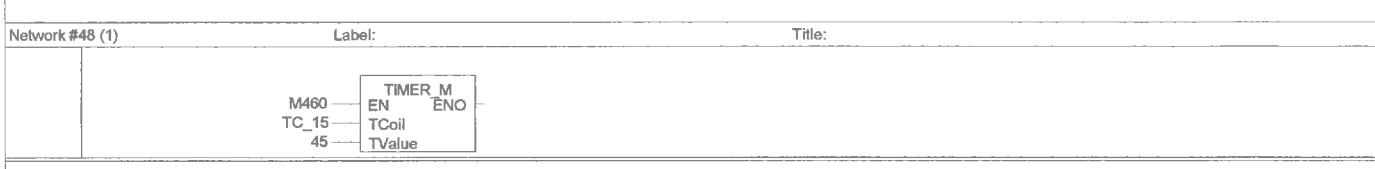
				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\IHEXAPODE\
				Drawn			AUTOM [PRG] Body [LD] Network #40
				Appr.			Page: 8
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

--	--	--

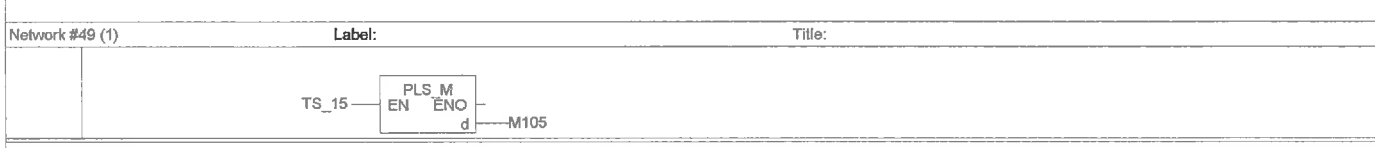
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #47



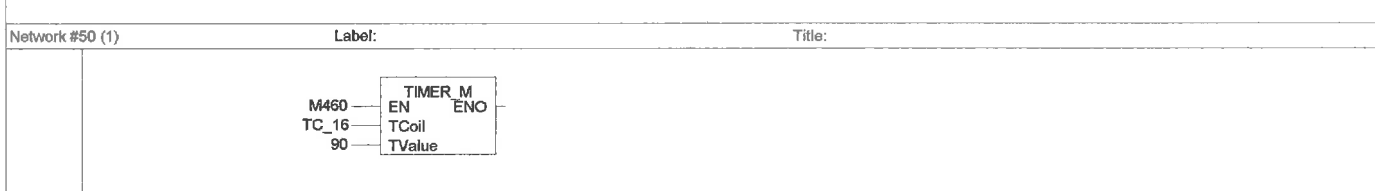
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #48



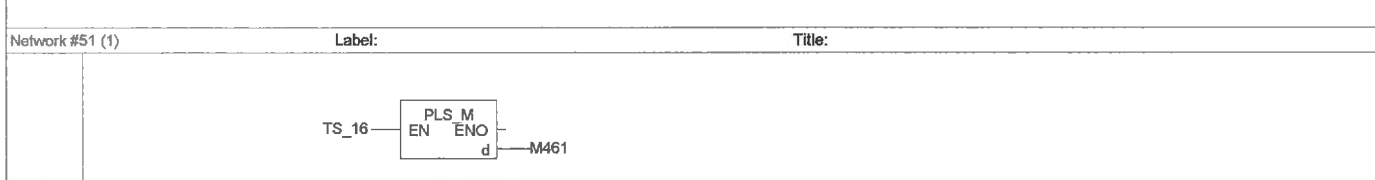
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #49



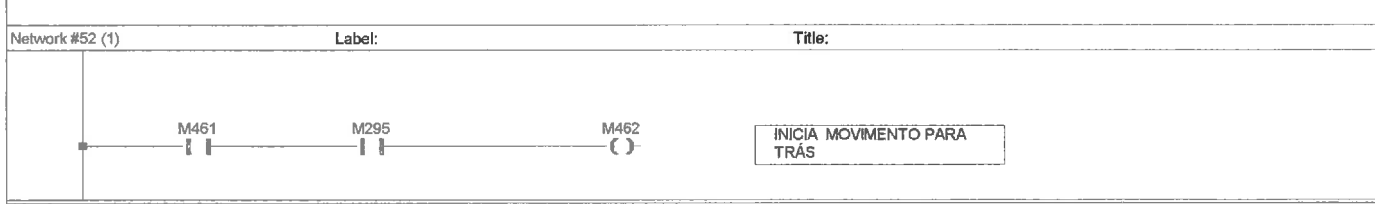
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #50



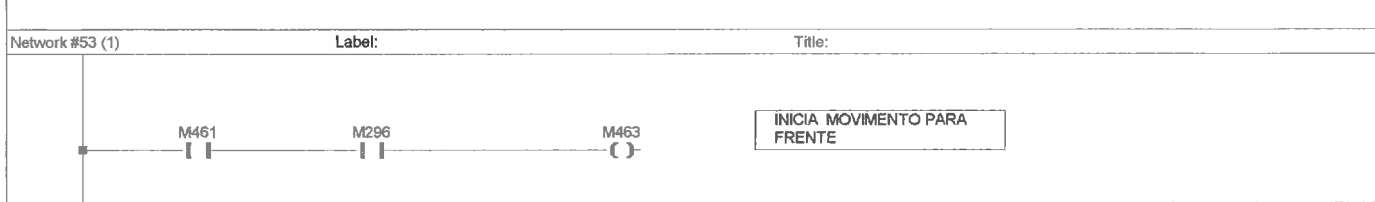
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #51



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #52



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #53



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #47
				Appr.		Page: 9
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

--	--	--

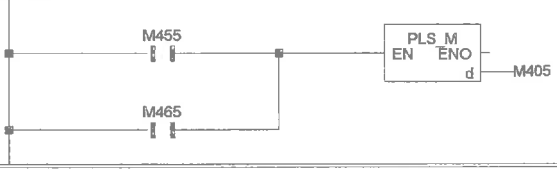
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #54

Network #54 (1) Label: Title:

MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #55

Network #55 (1) Label: Title:



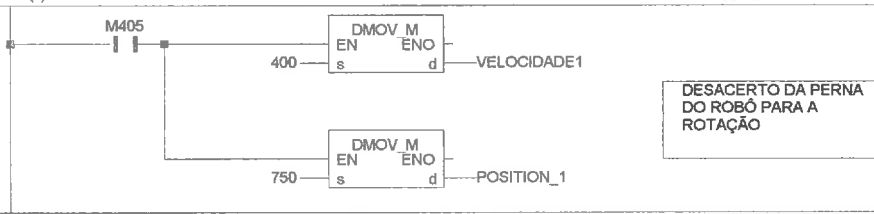
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #56

Network #56 (1) Label: Title:

MOVIMENTOS A EFECTUAR

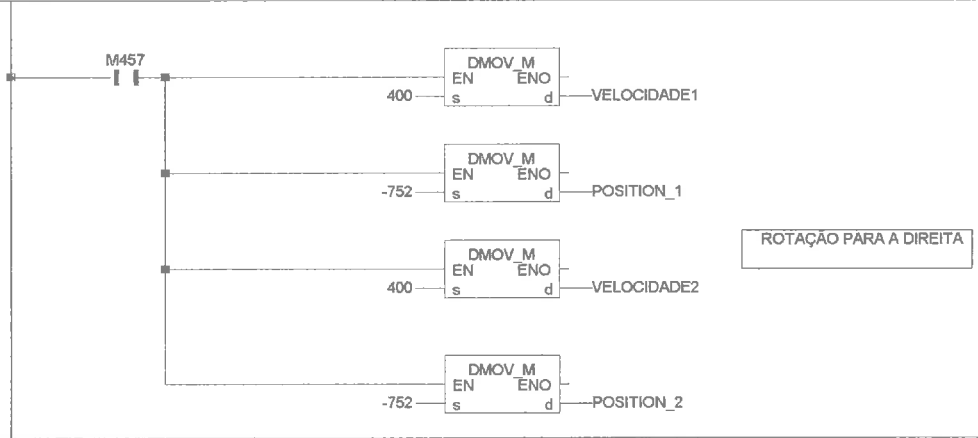
AUTOM [PRG] Body [LD] Network #57

Network #57 (1) Label: Title:



AUTOM [PRG] Body [LD] Network #58

Network #58 (1) Label: Title:



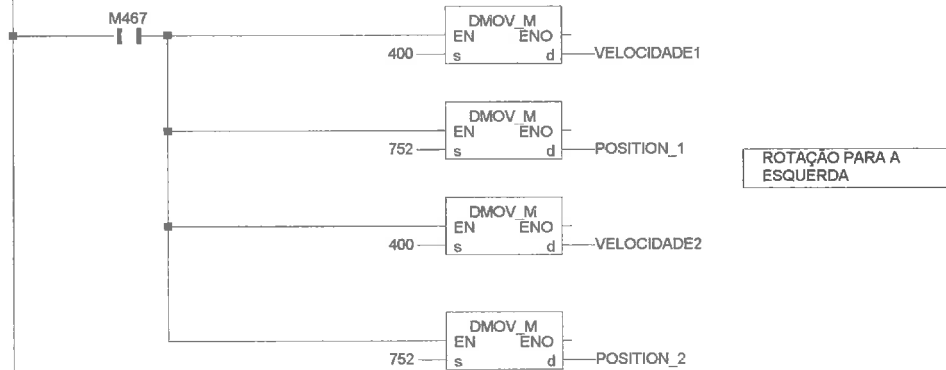
				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			AUTOM [PRG] Body [LD] Network #54
				Appr.			Page: 10
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

AUTOM [PRG] Body [LD] Network #59

Network #59 (1)

Label:

Title:

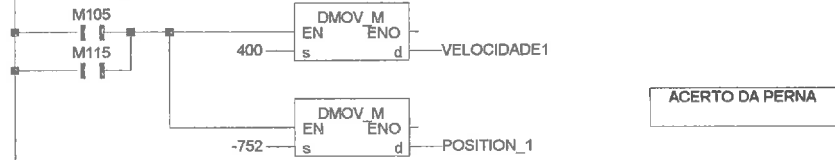


AUTOM [PRG] Body [LD] Network #60

Network #60 (1)

Label:

Title:



FORWARD [PRG] Header

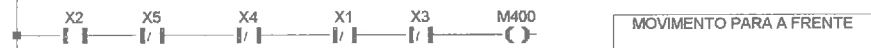
	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	VELOCIDADE DO MOTOR 1
1	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	VELOCIDADE DO MOTOR 2
2	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	POSIÇÃO DO MOTOR 1
3	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	POSIÇÃO DO MOTOR2

FORWARD [PRG] Body [LD] Network #1

Network #1 (1)

Label:

Title:



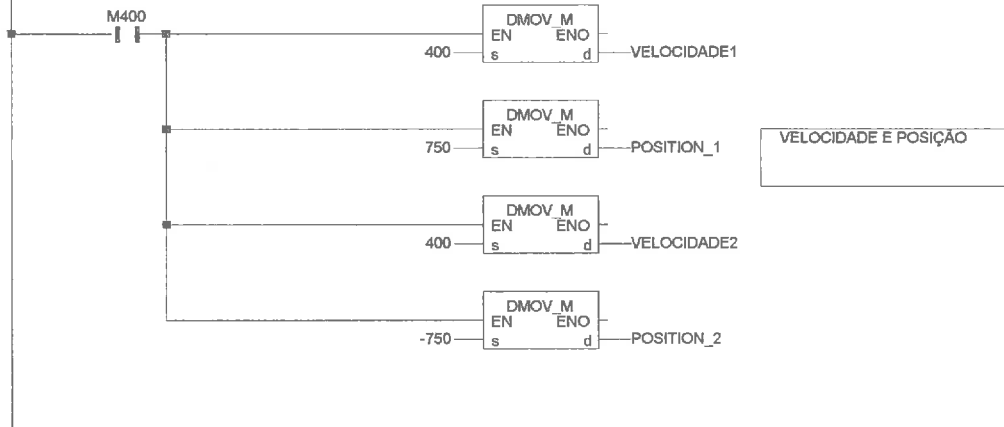
				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		AUTOM [PRG] Body [LD] Network #59
				Appr.		Page: 11
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

FORWARD [PRG] Body [LD] Network #2

Network #2 (1)

Label:

Title:



left [PRG] Header

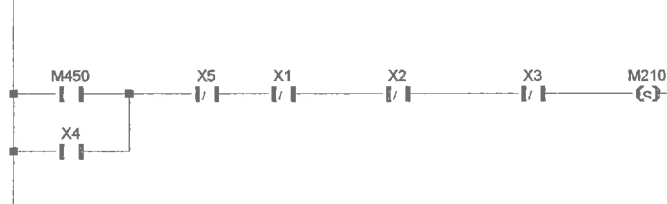
	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	Velocidade do motor I no sentido negativo
1	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	Velocidade do motor I no sentido negativo
2	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	Início da variação da velocidade
3	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	Início da variação da velocidade
4	VAR_EXTERNAL	TC_10	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
5	VAR_EXTERNAL	TC_12	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
6	VAR_EXTERNAL	TN_10	INT	0	Início da variação da velocidade
7	VAR_EXTERNAL	TN_12	INT	0	Início da variação da velocidade
8	VAR_EXTERNAL	TS_10	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
9	VAR_EXTERNAL	TS_12	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
10	VAR_EXTERNAL	var_M0	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
11	VAR_EXTERNAL	var_M1	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade
12	VAR_EXTERNAL	var_M2	BOOL	FALSE	Início da variação da velocidade

left [PRG] Body [LD] Network #1

Network #1 (1)

Label:

Title:

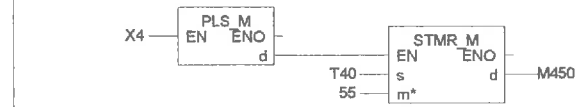


left [PRG] Body [LD] Network #2

Network #2 (1)

Label:

Title:



				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			FORWARD [PRG] Body [LD] Network #2
				Appr.			Page: 12
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

--	--	--

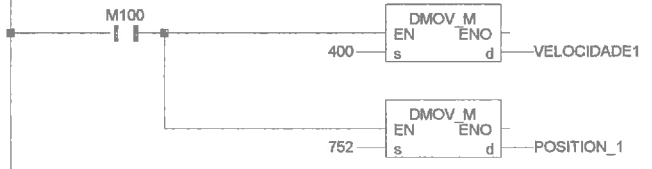
left [PRG] Body [LD] Network #3

Network #3 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



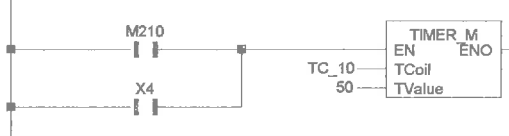
left [PRG] Body [LD] Network #4

Network #4 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



left [PRG] Body [LD] Network #5

Network #5 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



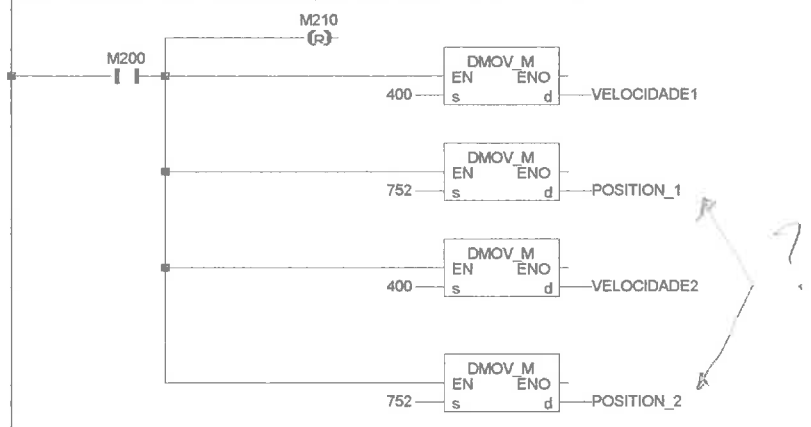
left [PRG] Body [LD] Network #6

Network #6 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



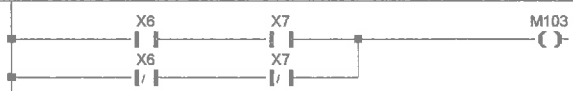
left [PRG] Body [LD] Network #7

Network #7 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



left [PRG] Body [LD] Network #8

Network #8 (1)	Label:	Title:
----------------	--------	--------



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		left [PRG] Body [LD] Network #3
				Appr.		Page: 13
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

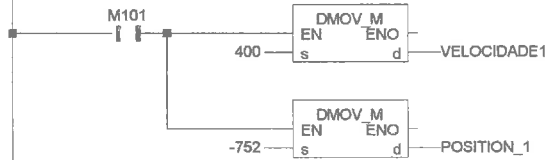
left [PRG] Body [LD] Network #9

Network #9 (1) Label: Title:



left [PRG] Body [LD] Network #10

Network #10 (1) Label: Title:

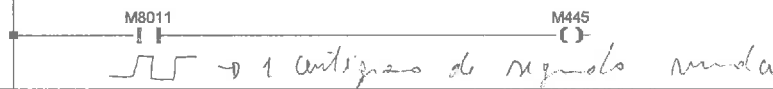


MOTOR_1 [PRG] Header

	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	Velocidade do motor l no sentido negativo
1	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	Início da variação da velocidade

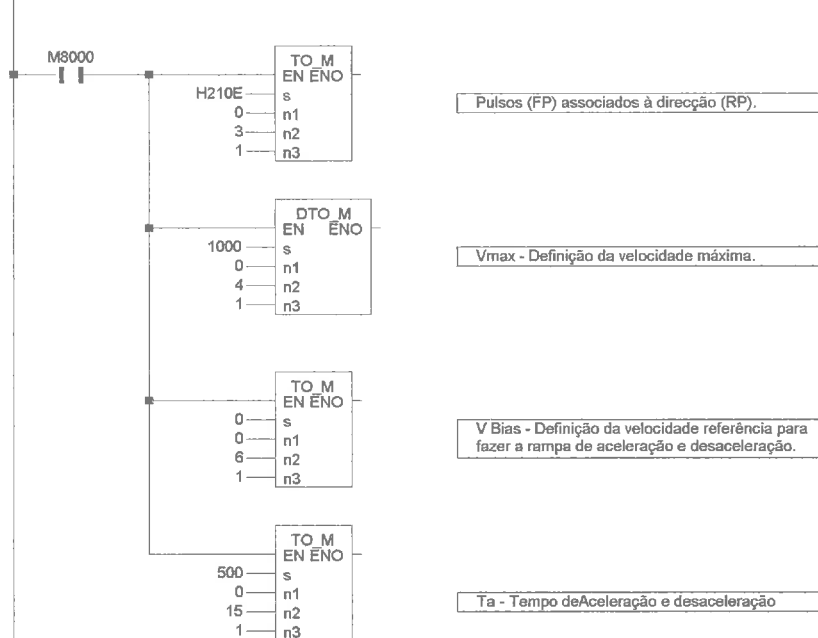
MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #1

Network #1 (1) Label: Title:



MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #2

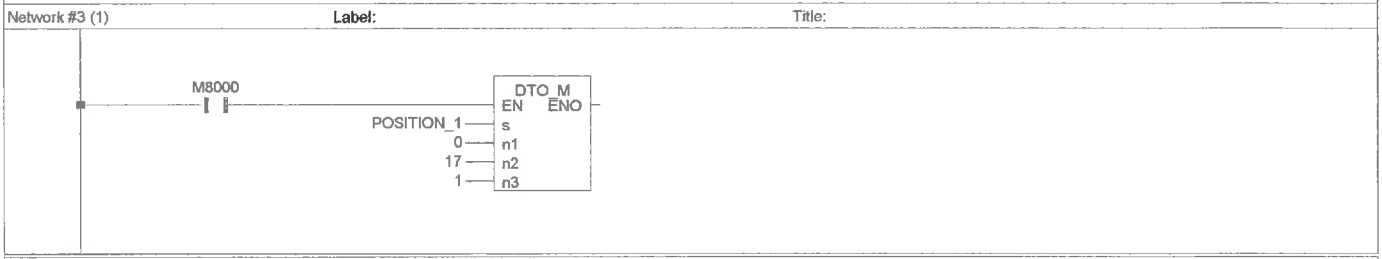
Network #2 (1) Label: Title:



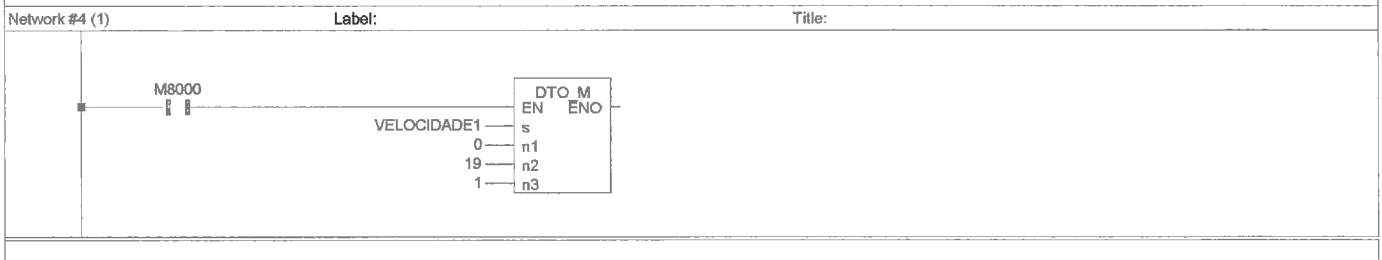
Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
Drawn		left [PRG] Body [LD] Network #9
Appr.		Page: 14
Rev	Change	Date
	Name	Rel.

--	--	--

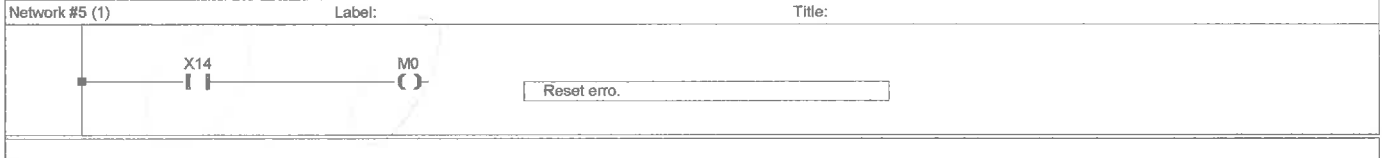
MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #3



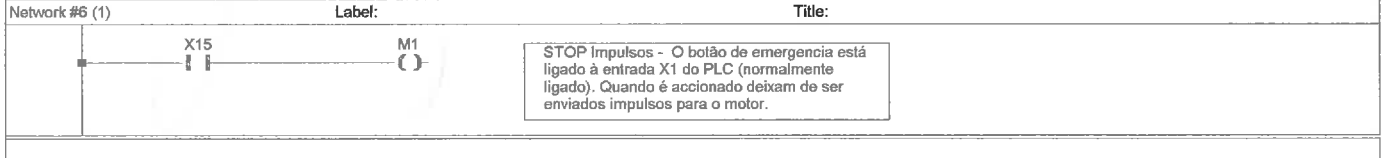
MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #4



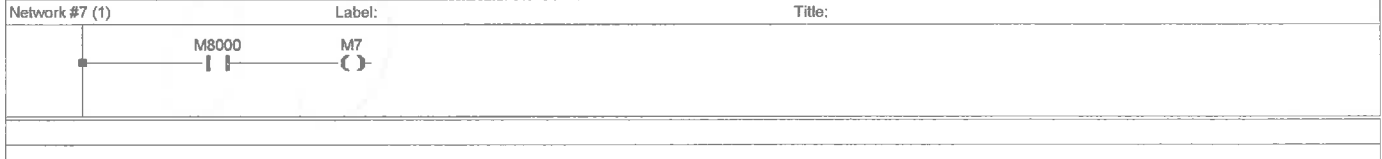
MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #5



MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #6



MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #7



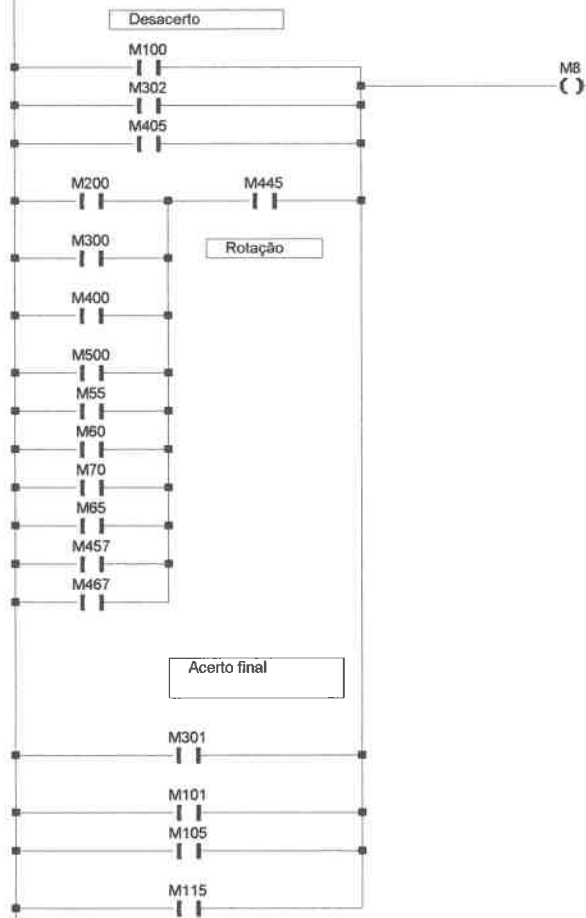
				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #3
				Appr.			Page: 15
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #8

Network #8 (1)

Label:

Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #8
				Appr.		Page: 16
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

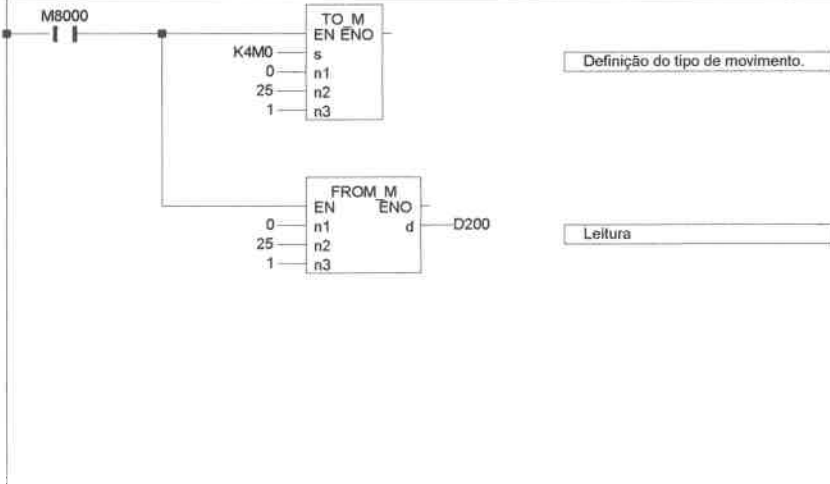
--	--	--

Network #8 (2) Label: Title:

Variable speed operation start - Só existe rotação do motor I se houver ordem para este rodar num sentido ou noutro e o motor II estar em funcionamento.

MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #9

Network #9 (1) Label: Title:



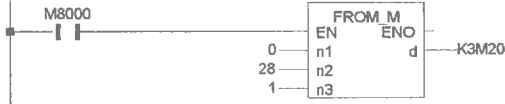
				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\WMP\HEXAPODE\
				Drawn			MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #8
				Appr.			Page: 17
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #10

Network #10 (1)

Label:

Title:



MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #11

Network #11 (1)

Label:

Title:



MOTOR_2 [PRG] Header

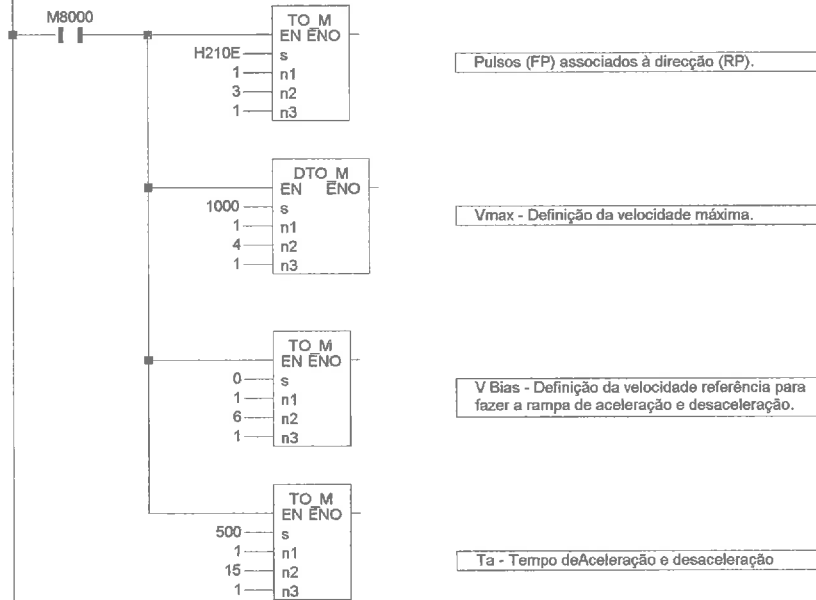
	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	Velocidade do motor I no sentido negativo
1	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	Início da variação da velocidade

MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #1

Network #1 (1)

Label:

Title:



				Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn		MOTOR_1 [PRG] Body [LD] Network #10
				Appr.		Page: 18
Rev	Change	Date	Name	Rel.		

MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #2

Network #2 (1)

Label:

Title:



MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #3

Network #3 (1)

Label:

Title:



MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #4

Network #4 (1)

Label:

Title:



MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #5

Network #5 (1)

Label:

Title:



MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #6

Network #6 (1)

Label:

Title:



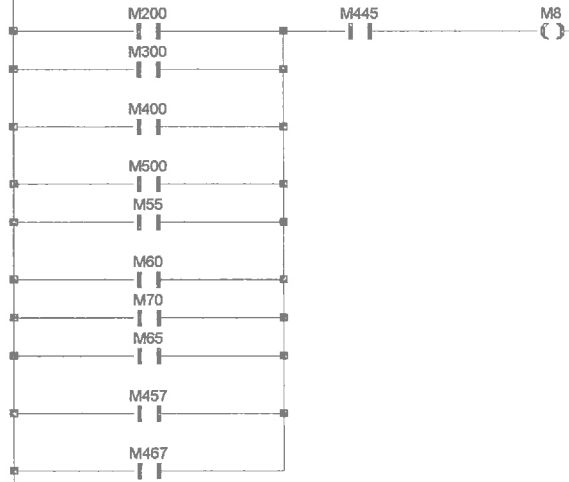
				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #2
				Appr.			Page: 19
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #7

Network #7 (1)

Label:

Title:



Network #7 (2)

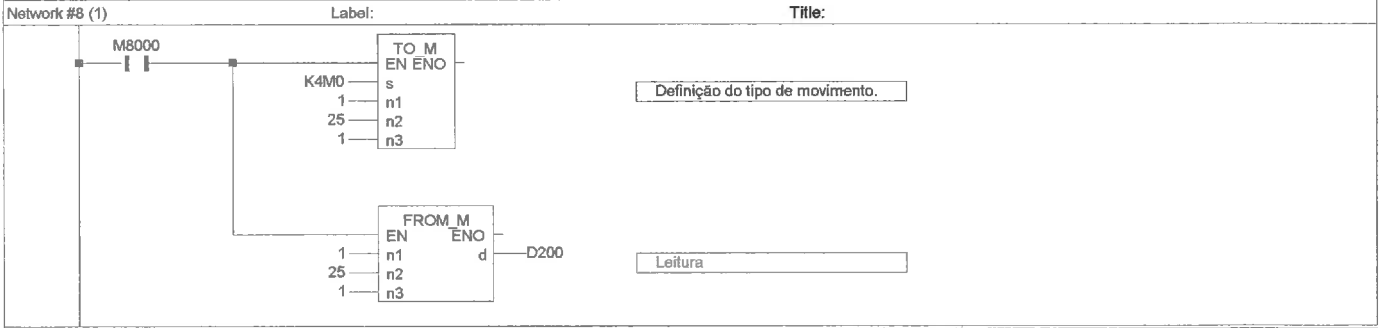
Label:

Title:

Variable speed operation start - Só existe rotação do motor I se houver ordem para este rodar num sentido ou noutro e o motor II estar em funcionamento.

				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #7
				Appr.			Page: 20
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #8



MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #9



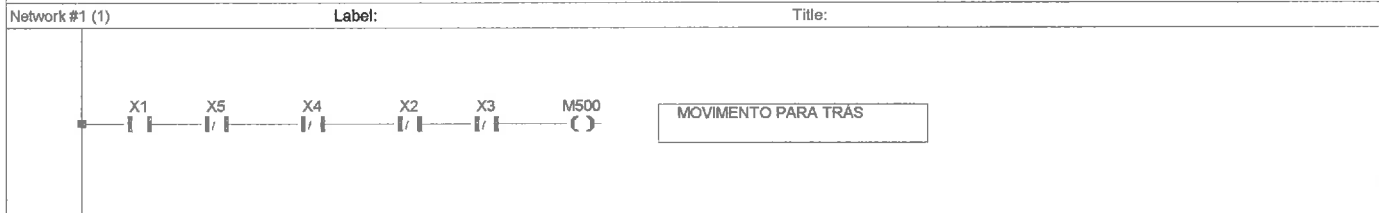
MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #10



REVERSE [PRG] Header

	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	Início da variação da velocidade
1	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	Início da variação da velocidade
2	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	Velocidade do motor I no sentido negativo
3	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	Velocidade do motor I no sentido negativo

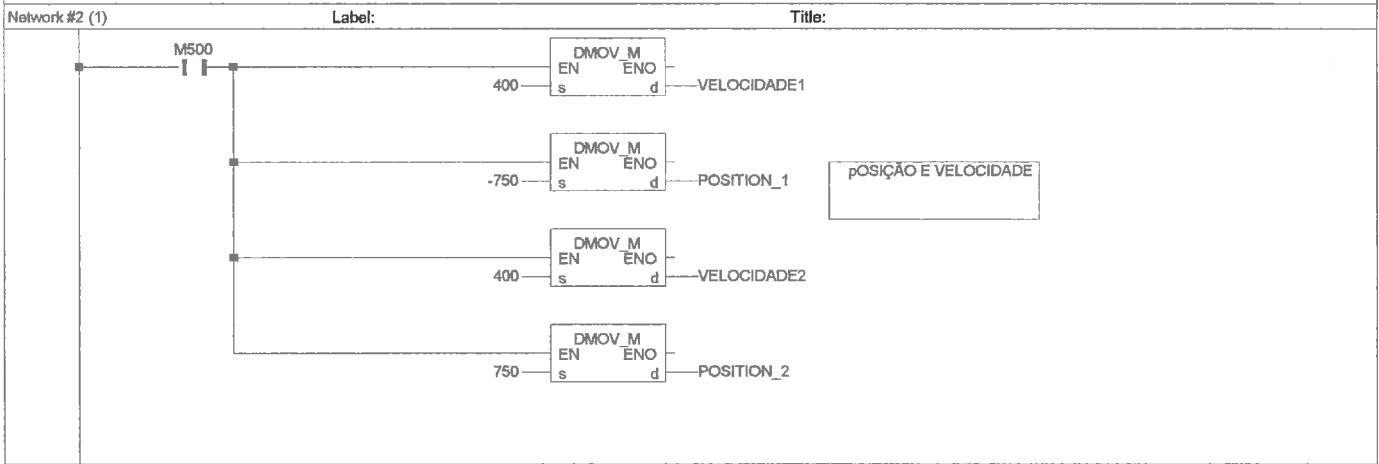
REVERSE [PRG] Body [LD] Network #1



Date	19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
Drawn		MOTOR_2 [PRG] Body [LD] Network #8
Appr.		Page: 21
Rev	Change	Date Name Rel.

--	--	--

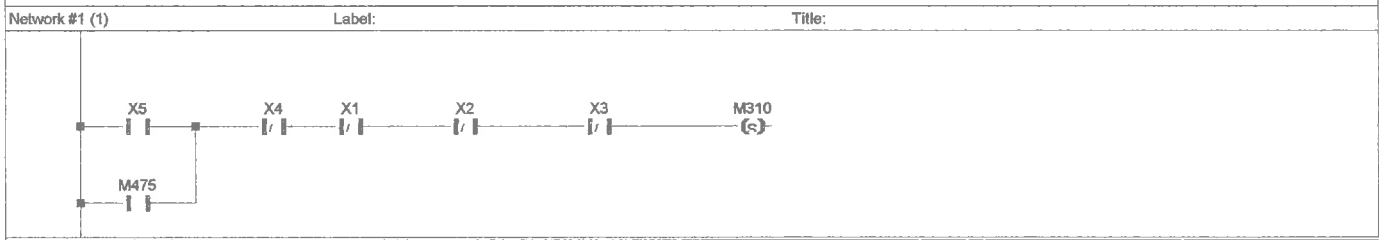
REVERSE [PRG] Body [LD] Network #2



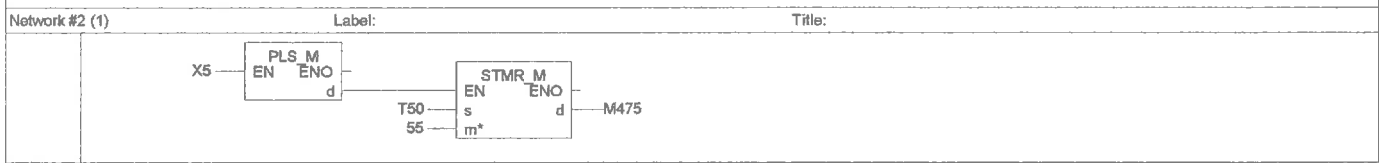
right [PRG] Header

	Class	Identifier	Type	Initial	Comment
0	VAR_EXTERNAL	POSITION_1	DINT	0	
1	VAR_EXTERNAL	POSITION_2	DINT	0	
2	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE1	DINT	0	
3	VAR_EXTERNAL	VELOCIDADE2	DINT	0	
4	VAR_EXTERNAL	TC_11	BOOL	FALSE	
5	VAR_EXTERNAL	TN_11	INT	0	
6	VAR_EXTERNAL	TS_11	BOOL	FALSE	

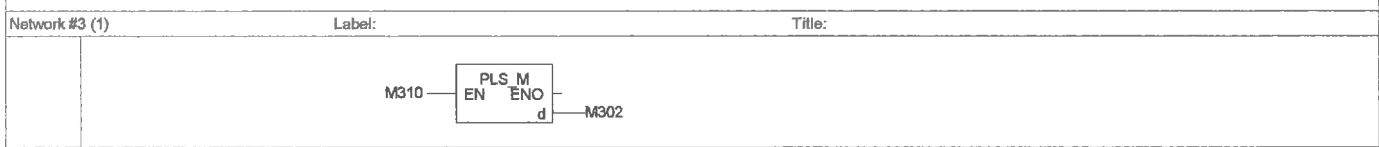
right [PRG] Body [LD] Network #1



right [PRG] Body [LD] Network #2



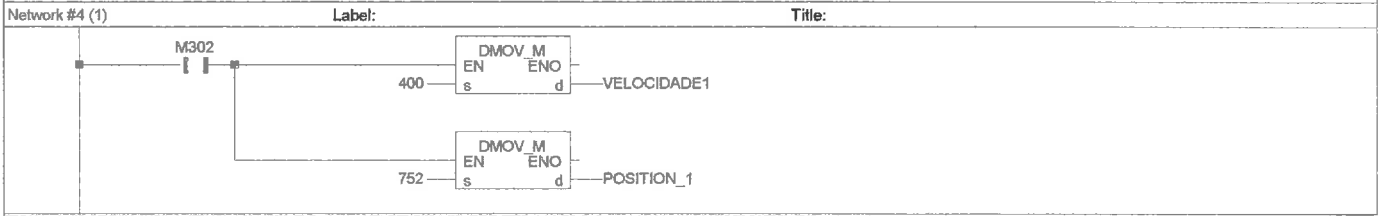
right [PRG] Body [LD] Network #3



				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			REVERSE [PRG] Body [LD] Network #2
				Appr.			Page: 22
Rev	Change	Date	Name	Rel.			

--	--	--

right [PRG] Body [LD] Network #4



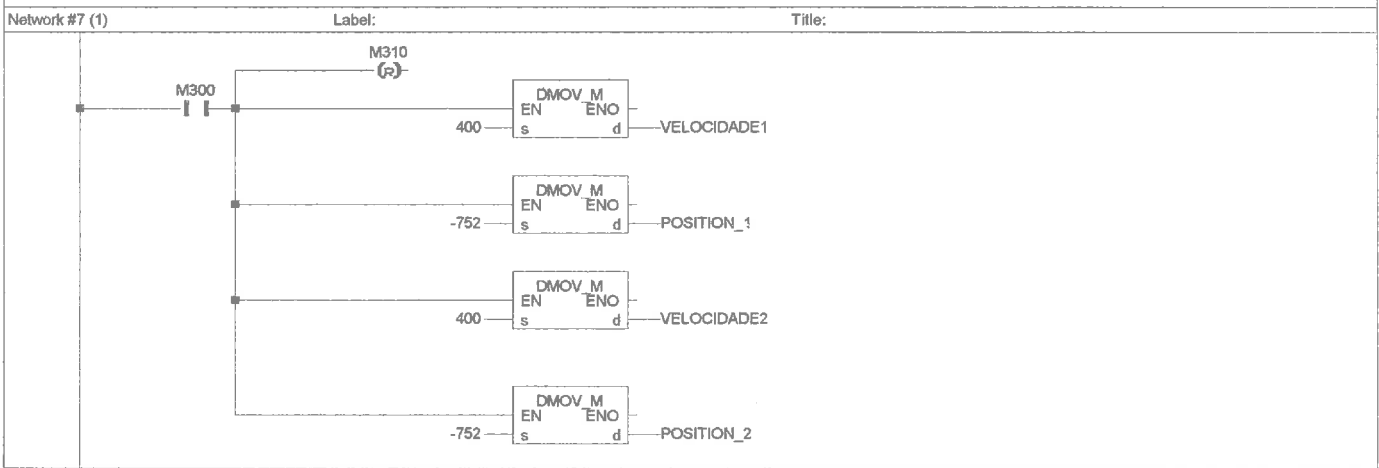
right [PRG] Body [LD] Network #5



right [PRG] Body [LD] Network #6



right [PRG] Body [LD] Network #7



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

				Date		19-09-1901 16:58:19	C:\MMP\HEXAPODE\
				Drawn			right [PRG] Body [LD] Network #4
				Appr.			Page: 23
Rev	Change	Date	Name	Ref.			