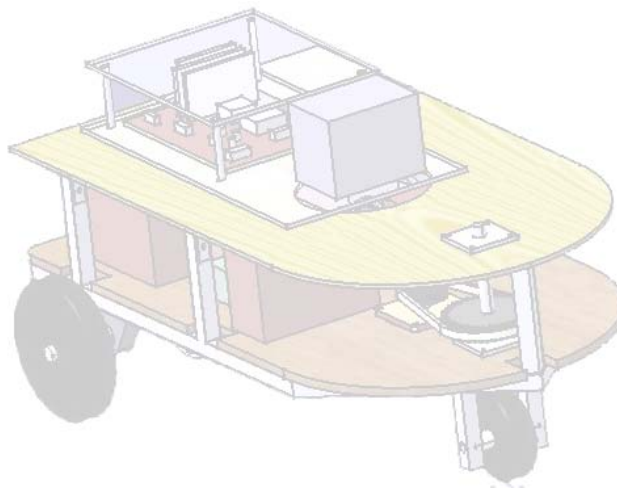


DESENVOLVIMENTO DE UM ROBOT PARA PARTICIPAÇÃO NO ROBOTICA2003

Projecto de Automação *Robot ATLAS*



07/2003

Realizado por:
José Luís Silva
José Miguel Gomes

Orientado por:
Prof. Dr. Vitor Santos

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Aveiro

<http://www.mec.ua.pt/robotics/>



AGRADECIMENTOS:

Prof. Dr. Vítor Santos

Eng. Ricardo Jorge

Eng. António Festas

INDICE:

1 Objectivos	6
2 Guiamento	7
2.1 Sistemas de tracção e direcção	7
2.1.1 Sistema de tracção e direcção acoplada com duas rodas motrizes – Tracção diferencial	7
2.1.2 Sistema de tracção e direcção na mesma roda	7
2.1.3 Sistema de tracção e direcção independentes	8
2.2 Escolha do sistema de tracção e direcção	9
2.3 Princípios de Funcionamento de um Diferencial Mecânico	9
3 Estrutura e Componentes Mecânicos	10
3.1 Geometria e Design	10
3.2 Tipos de material utilizado e estrutura	11
3.3 Disposição dos componentes	12
3.4 Centro de massa	12
3.5 Concepção dos componentes e estrutura	13
3.6 Componentes e acessórios	18
4 Percepção	20
4.1 Sensores	20
4.2 Espelhos Concorrentes	23
5 Controlo	24
5.1 Controlo de Direcção	24
5.2 A Unidade de Tracção	28
5.3 Ligações Eléctricas com a Carta de Aquisição de Dados Labpc+	32
5.3.1 SAIDAS ANALÓGICAS	32
5.3.2 ENTRADAS ANALÓGICAS	32
5.3.3 SAÍDAS DIGITAIS	33
5.3.4 ENTRADAS DIGITAIS	34
5.4 Placas electrónicas e de Controlo	34
5.4.1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO	34
5.4.2 STOP POR HARDWARE	36
5.4.2.1 Enable do servocontrolador a 12V	37
5.4.3 RECEPTOR DO SEMÁFORO E FLIP-FLOP	39
5.4.4 SWITCHES	40
5.4.5 CONECTORES	41
5.5 Algoritmos de Navegação	42
5.5.1 ALGORITMO DA 1ª MANGA	45

5.5.2 ALGORITMO DA 2ª MANGA	45
5.5.3 ALGORITMO DA 3ª MANGA	46
6 Sistema de Processamento e Interface	47
7 Participação no Festival Robotica2003	47
8 Nova Abordagem de Navegação	48
9 Conclusão e Elementos Mais Marcantes	51
Bibliografia	52
Anexos	53

Índice de Figuras

Figura 1 – Circuito da competição.	6
Figura 2 – Dimensões da pista para a competição.	6
Figura 3 – Sistema com tracção diferencial.	7
Figura 4 – Sistema com tracção e direcção na mesma roda.	8
Figura 5 – Sistema com diferencial mecânico.	8
Figura 6 – Distâncias percorridas pelas duas rodas.	9
Figura 7 – Esquema de um diferencial mecânico.	10
Figura 8 – Design do robot.	11
Figura 9 – Estrutura em alumínio e pisos em madeira.	11
Figura 10 – Conjunto de um semi-eixo de tracção.	12
Figura 11 – Disposição de componentes e centro de massa do sistema.	13
Figura 12 – Suporte do diferencial e acoplamento do conjunto de tracção.	13
Figura 13 – Vista lateral do suporte do diferencial.	14
Figura 14 – Vista superior do suporte do diferencial.	14
Figura 15 – Estrutura em alumínio com ligações soldadas.	15
Figura 16 – Vista lateral da estrutura em alumínio.	15
Figura 17 – Vista superior da estrutura em alumínio.	15
Figura 18 – Piso inferior em madeira.	16
Figura 19 – Vista superior do piso inferior.	16
Figura 20 – Vista do robot em fase final de concepção.	17
Figura 21 – Montagem do conjunto de tracção.	17
Figura 22 – Estrutura do robot em fase final de montagem.	17
Figura 23 – Fonte de alimentação ATX AC/DC e conversor DC/AC.	18
Figura 24 – Diagrama do de ligações e fluxo de corrente do inversor.	18
Figura 25 – Transmissões da tracção e direcção.	19
Figura 26 – Botão de emergência.	19
Figura 27 – Webcam Philips Toucam pro.	20
Figura 28 – Sensor da passadeira Sick WT170.	20
Figura 29 – Esquema das ligações eléctricas do sensor da passadeira WT170.	21
Figura 30 – Suporte dos sensores dos semáforos e protótipo do semáforo.	21
Figura 31 – Sensor de passagem no túnel Sharp GP2D12.	22
Figura 32 – Esquema de ligações eléctricas do sensor Sharp GP2D12.	22
Figura 33 – Curva de calibração do sensor de Sharp GP2D12.	22
Figura 34 – Estrutura dos espelhos concorrentes.	23
Figura 35 – Imagens da pista obtidas com os espelhos concorrentes.	23
Figura 36 – Servostepper.	24
Figura 37 – Suporte e acoplamento do potenciómetro ao veio de direcção.	25
Figura 38 – Esquema do circuito e fórmulas para gerar a onda quadrada do NE555.	26
Figura 39 – Descrição do servostepper.	27
Figura 40 – Motor passo-a-passo da direcção.	27
Figura 41 – Esquema e diagrama das fases do motor passo-a-passo.	28
Figura 42 – Esquema das forças aplicadas ao sistema.	29
Figura 43 – Motor de tracção Maxon RE 40.	30

Figura 44 – Unidade de controlo do motor de tracção.	31
Figura 45 – Esquemas das ligações da unidade de controlo do motor de tracção.	31
Figura 46 – Esquemas das ligações das saídas analógicas da Labpc+.	32
Figura 47 – Esquemas das ligações das entradas analógicas da Labpc+.	33
Figura 48 – Esquemas das ligações saídas digitais da Labpc+.	33
Figura 49 – Esquemas das ligações das entradas digitais da Labpc+.	34
Figura 50 – Fonte de alimentação.	34
Figura 51 – Diagrama da fonte de alimentação.	35
Figura 52 – Esquema eléctrico da fonte de alimentação.	35
Figura 53 – Stop por hardware.	36
Figura 54 – Diagrama do stop por hardware.	37
Figura 55 – Esquema eléctrico do enable a 12V.	37
Figura 56 – Esquema das tensões sem a porta lógica 74HC14.	38
Figura 57 – Esquema das tensões com a porta lógica 74HC14.	38
Figura 58 – Diagrama da placa dos receptores IV dos semáforos e Flip-Flop.	39
Figura 59 – Esquema eléctrico dos switches.	40
Figura 60 – Diagrama da placa portadora dos switches.	40
Figura 61 – Diagrama dos conectores com corrente das baterias.	41
Figura 62 – Diagrama dos conectores com corrente da fonte de alimentação ATX.	41
Figura 63 – Esquema do cálculo das distâncias ao centro da pista, situação óptima de posicionamento do robot (centro da pista).	42
Figura 64 – Fluxograma de navegação do programa principal.	43
Figura 65 – Fluxograma de controlo com seguimento pela linha da direita.	44
Figura 66 – Equipa ATLAS.	47
Figura 67 – Robot com nova colocação da webcam.	48
Figura 68 – Esquema dos ângulos calculados e imagem real obtida com o programa de navegação.	48
Figura 69 – Situação em que vêm as linhas com interrupções, e com obstáculos.	49
Figura 70 – Espaço real correspondente ao nº do pixel da imagem.	50

1 Objectivos

O objectivo principal é o desenvolvimento de um robot móvel para competir na classe de Universidades e Institutos politécnicos do 3º Festival Nacional de Robótica – ROBOTICA2003.

A tarefa principal é a de seguir um percurso em forma de estrada com diversas perturbações como cruzamento, passadeira, semáforos, ou túnel.



Figura 1 – Circuito da competição. [1]

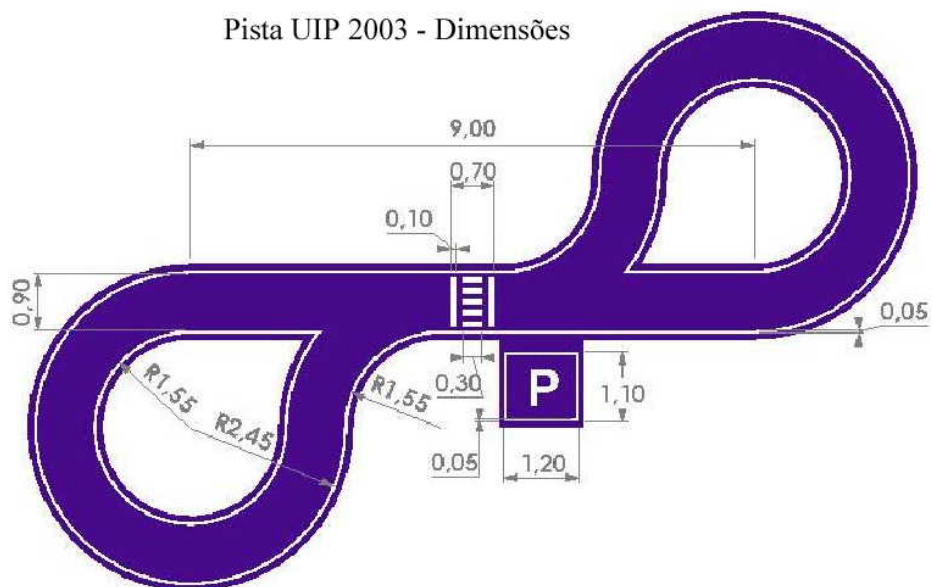


Figura 2 – Dimensões da pista para a competição.

2 Guiamento

O guiamento, ou condução, do robot é o processo base onde assenta a locomoção e em que a solução a adoptar tem de procurar responder o melhor possível aos objectivos.

Assim, esta secção descreve os sistemas de guiamento considerados e explica as razões da escolha final.

2.1 Sistemas de tracção e direcção

Das várias combinações de tracção e direcção possíveis, foram equacionados três tipos principais para a prossecução dos objectivos.

2.1.1 Sistema de tracção e direcção acoplada com duas rodas motrizes – Tracção diferencial

Este será talvez o sistema mais utilizado para robots neste tipo de tarefas, uma vez que tem grande manobrabilidade e capacidade de girar 360° em torno de si próprio. A tracção é realizada por dois motores com semi eixos independentes e a mudança de direcção é feita pela diferença de velocidades angulares das duas rodas motrizes. Há, no entanto, maiores restrições na distribuição do peso devido aos momentos de inércia que, neste caso, têm um significado importante. Normalmente, existe pelo menos uma roda livre para dar equilíbrio ao robot.

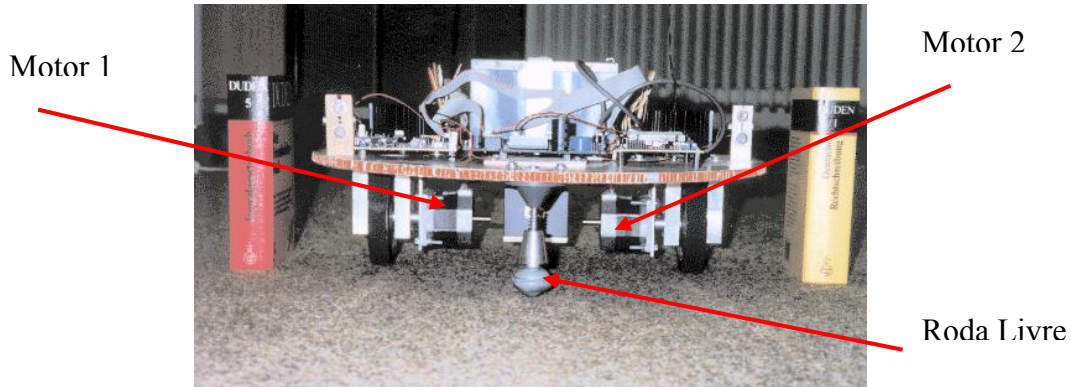


Figura 3 – Sistema com tracção diferencial.

2.1.2 Sistema de tracção e direcção na mesma roda

O sistema de tracção e direcção na mesma roda, seguindo o princípio do triciclo, obriga à utilização dos órgãos de tracção e direcção no mesmo bloco de rotação. Embora seja uma solução bastante interessante, foi posta para segundo plano, por ser uma solução mecanicamente elaborada e também por não ser uma solução original nestes concursos.

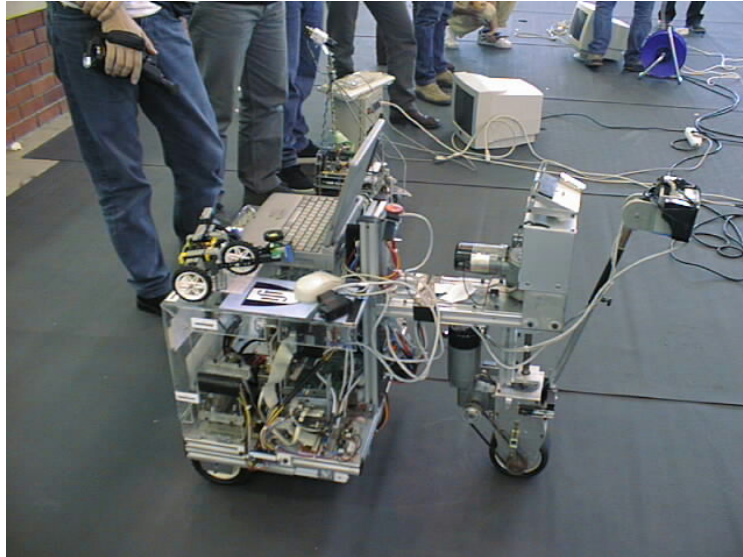


Figura 4 – Sistema com tracção e direcção na mesma roda.

2.1.3 Sistema de tracção e direcção independentes

Com a tracção e a direcção independentes obtém-se um sistema desacoplado, tanto ao nível dinâmico como estrutural. Uma vez que a tracção é feita por um único motor e existem duas rodas motrizes coaxiais, é necessário o uso de um **Diferencial Mecânico** para compensar a diferença de rotação das rodas quando o robot está a curvar, e não forçar a derrapagem de uma delas.

Conceptualmente é mais complexo que o sistema de triciclo mas permite, de facto, muito mais flexibilidade na distribuição de componentes.

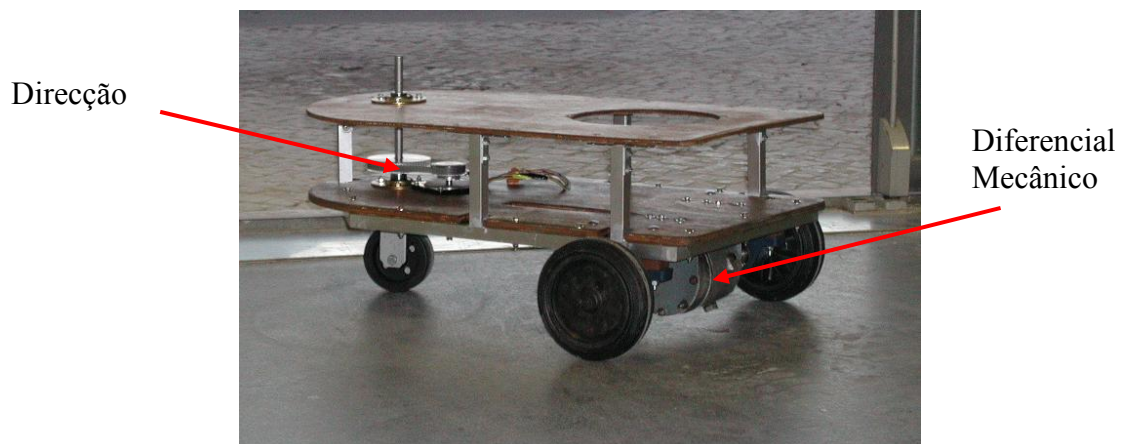


Figura 5 – Sistema com diferencial mecânico.

2.2 Escolha do sistema de tracção e direcção

A escolha final foi feita com base em alguns aspectos relevantes e recaiu no sistema de tracção e direcção independentes. É mecanicamente complexo porque obriga ao uso de um Diferencial Mecânico para não haver escorregamento das rodas em situação de curva, mas permite uma distribuição do peso muito mais flexível, porque os momentos de inércia são aqui pouco relevantes. As rodas de trás são motrizes e a da frente orienta, levando consigo todo o conjunto, pelo que os momentos de inércia não têm relevância significativa para efeito de controlo.

Ressalve-se que a direcção é feita à frente para não haver o risco de pisar as linhas com a parte de trás do robot, quando fosse necessário fazer correcções bruscas da trajectória. Assim, é possível ter um controlo da trajectória mais eficaz. Por outro lado, a aplicação de um diferencial mecânico é algo inédito neste tipo de concurso e por isso, bastante aliciante devido ao desafio imposto.

2.3 Princípios de Funcionamento de um Diferencial Mecânico

O diferencial é um dispositivo mecânico que compensa a diferença de distância percorrida entre as duas rodas de um mesmo eixo durante uma curva. Numa curva, a roda externa percorre uma distância maior que a interna. Nesta situação, a diferença entre as distâncias é compensada no diferencial através de um sistema de engrenagens cónicas, as planetárias e os satélites.

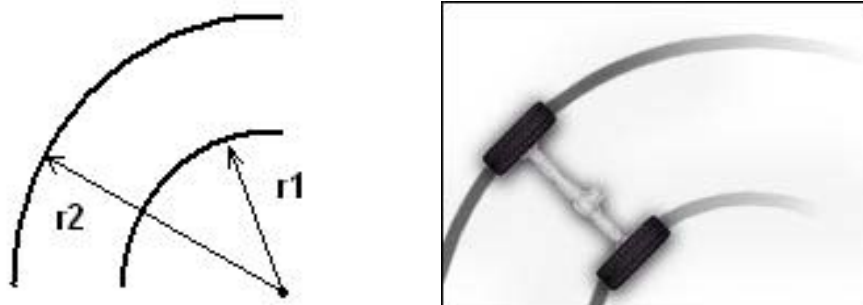


Figura 6 – Distâncias percorridas pelas duas rodas.

$$d_1 = \theta \frac{\pi}{180^\circ} r_1 \quad ; \quad d_2 = \theta \frac{\pi}{180^\circ} r_2 \quad ; \quad \theta \text{ em graus.}$$

$$r_2 > r_1 \Rightarrow d_2 > d_1$$

Se as forças aplicadas aos dois semi-eixos forem iguais, as velocidades de rotação também o são e os satélites, a vermelho na figura 5, não têm movimento de rotação, apenas

de translação, sendo nula a velocidade relativa dos satélites em relação aos planetários. Como os satélites estão solidários com a engrenagem principal (azul), o movimento de translação é constante e quando um dos semi-eixos reduz a velocidade por acção de forças externas, os satélites são forçados a rodar sobre os planetários. O movimento de rotação é assim adicionado ao movimento de translação forçando o outro semi-eixo a rodar com maior velocidade. Na realidade, com uma relação unitária, a rotação perdida por um semi-eixo é a rotação ganha pelo outro.

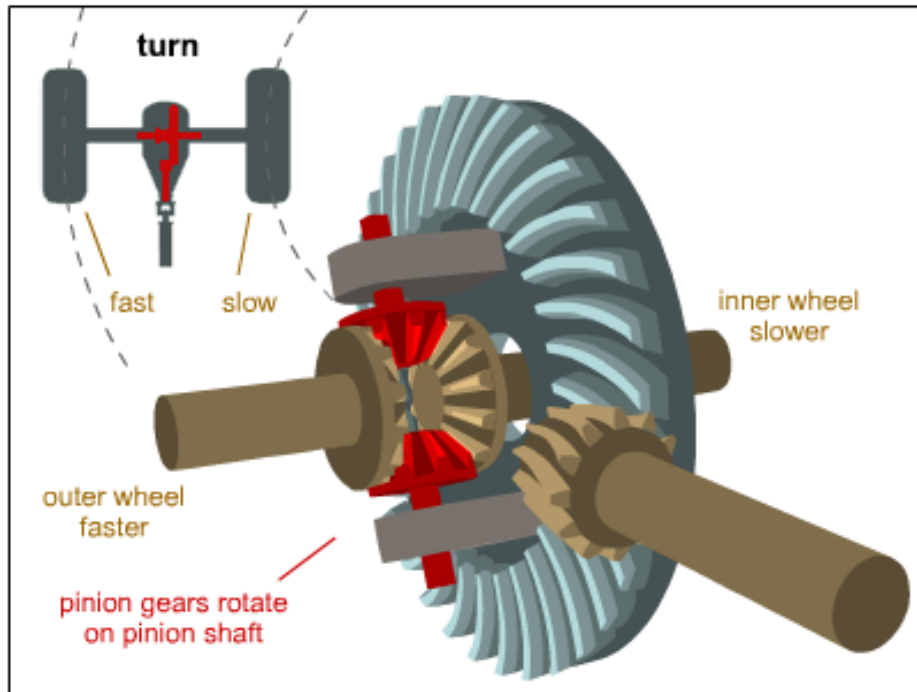


Figura 7 – Esquema de um diferencial mecânico. [2] [3]

3 Estrutura e Componentes Mecânicos

3.1 Geometria e Design

No design do robot a questão principal foi a sua forma. Entre um vasto leque de opções (hexagonal, circular, quadrado, ovalado...), decidiu-se por uma forma híbrida de um rectângulo arredondado numa das extremidades. Esta forma permite uma elevada flexibilidade no aspecto da construção mecânica, sendo também a estética um dos aspectos levados em conta.

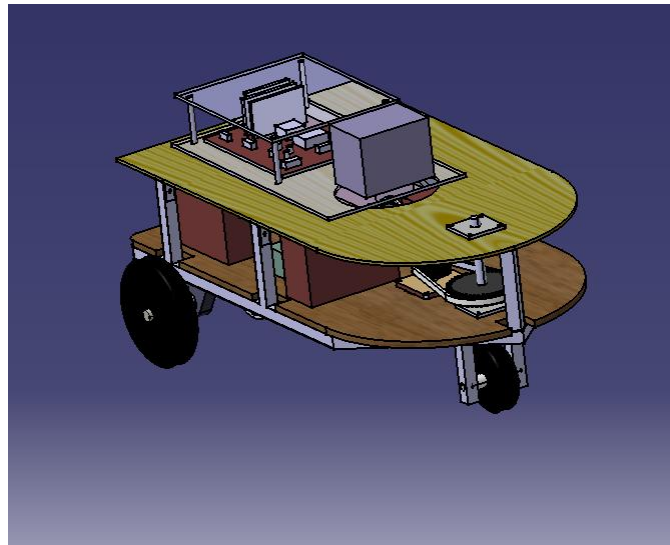


Figura 8 – Design do robot.

Em termos da geometria e dimensões tentou-se reduzir o espaço ao necessário e minimizar a sua altura, baixando o centro de massa em relação ao solo.

3.2 Tipos de material utilizado e estrutura

Na escolha dos materiais disponíveis para a construção do chassis optou-se pela madeira e o alumínio devido à relação resistência-peso destes dois materiais.

O robot foi dividido em dois pisos, sendo o 1º piso para os componentes mecânicos, e o 2º para os componentes electrónicos. Estes pisos são de madeira (contraplacado), aos quais se fixam os diversos componentes com relativa facilidade. Os pisos assentam numa estrutura feita em perfil de alumínio quadrado 19x19mm com ligações soldadas.

Estes materiais foram escolhidos tendo em conta a sua relação resistência-peso, peso relativamente baixo e resistência relativamente elevada.

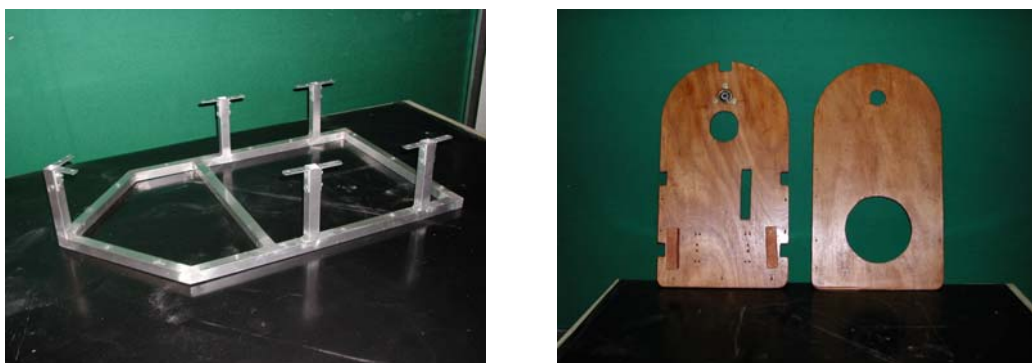


Figura 9 – Estrutura em alumínio e pisos em madeira.

Os elementos mecânicos sujeitos a esforços elevados, foram maquinados em aço, aço inoxidável e material compósito de elevada resistência e dureza, como por exemplo os casquilhos das rodas motrizes. Os restantes, tais como os calços das chumaceiras e os vários suportes existentes, foram feitos em material compósito de menor resistência e dureza, alumínio, zinco, nylon, madeira e acrílico.



Figura 10 – Conjunto de um semi-eixo de tracção.

3.3 Disposição dos componentes

A disposição dos componentes foi rigorosamente estudada tendo em vista a distribuição de peso e a prioridade da colocação estratégica de certos componentes fundamentais.

O elemento que mais influenciou na localização geométrica dos restantes componentes foi o diferencial mecânico uma vez que é o objecto mais pesado e o mais influente no sistema de tracção. Este foi fixado por baixo da estrutura de modo a otimizar o diâmetro da roda pelo mínimo possível (160mm), ficando a distância do diferencial ao solo de cerca de 3 cm.

A disposição dos restantes componentes, foi realizada tendo em conta alguma minimização do espaço disponível.

3.4 Centro de massa

Em relação ao centro de massa tentou-se baixa-lo em relação ao solo o máximo possível e que transversalmente a distribuição do peso fosse simétrica. Longitudinalmente o objectivo foi o de recuá-lo para que os momentos de inércia não tivessem um efeito significativo, principalmente em situações de curva a velocidades consideráveis onde o robot podia inclinar e perder um dos pontos de contacto com o solo.

Assim, procedeu-se ao cálculo do centro de massa.

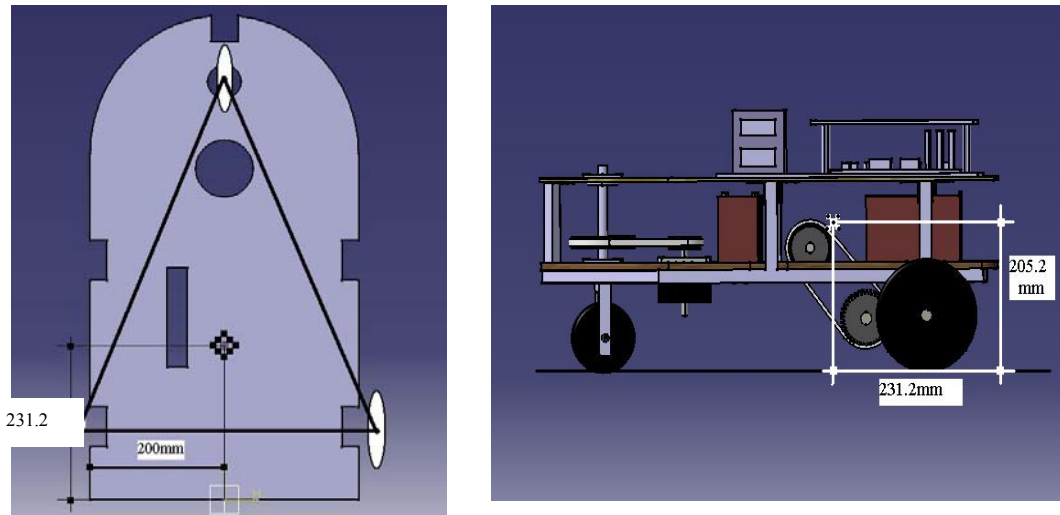


Figura 11 – Disposição de componentes e centro de massa do sistema.

$$X_c = \frac{\sum m_i \cdot \bar{x}_i}{\sum m_i} \approx 200\text{mm}; \quad Y_c = \frac{\sum m_i \cdot \bar{y}_i}{\sum m_i} \approx 231\text{mm}; \quad Z_c = \frac{\sum m_i \cdot \bar{z}_i}{\sum m_i} \approx 205\text{mm}$$

Tal como indica a figura, o centro de massa está compreendido no triângulo formado pelos pontos de contacto com o solo, o que é uma situação desejada.

3.5 Concepção dos componentes e estrutura

Após definidos todos estes aspectos construtivos, o robot foi integralmente desenhado em cotas reais com o auxílio do programa de desenho CATIA® e, de seguida, procedeu-se à fase de maquinação e montagem dos diversos componentes.

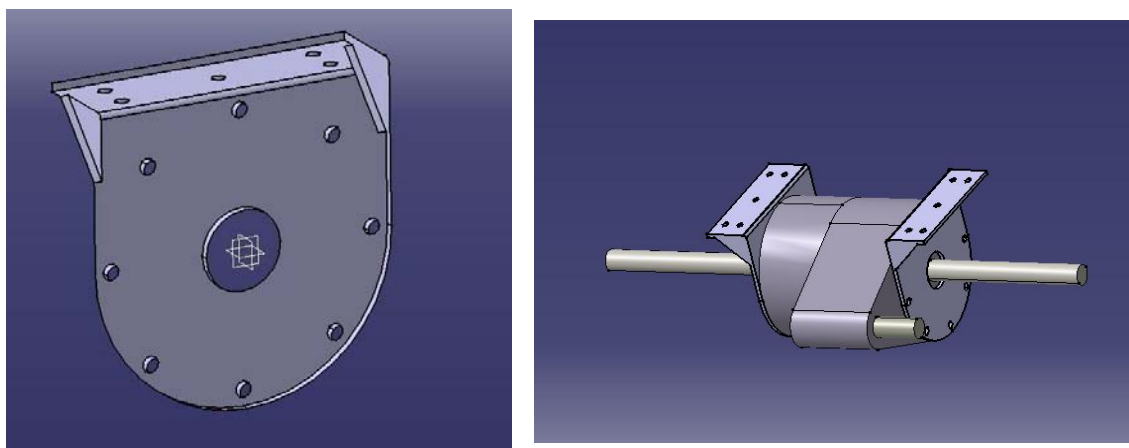


Figura 12 – Suporte do diferencial e acoplamento do conjunto de tracção.

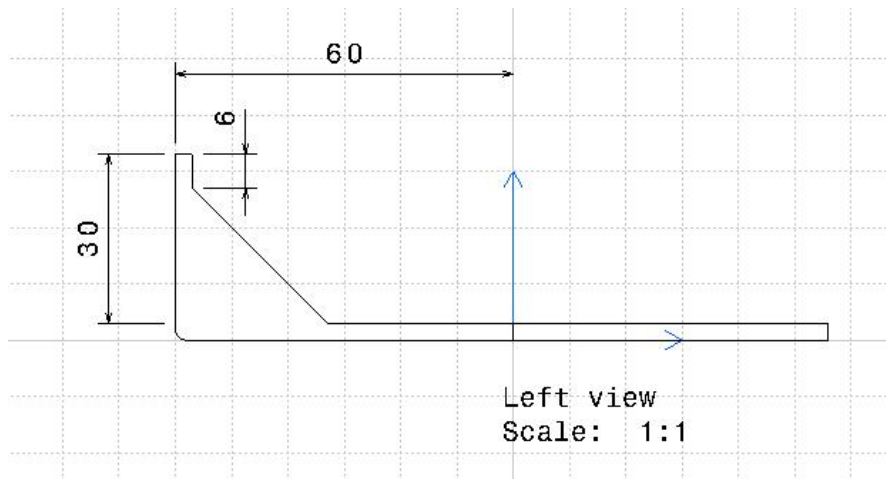


Figura 13 – Vista lateral do suporte do diferencial.

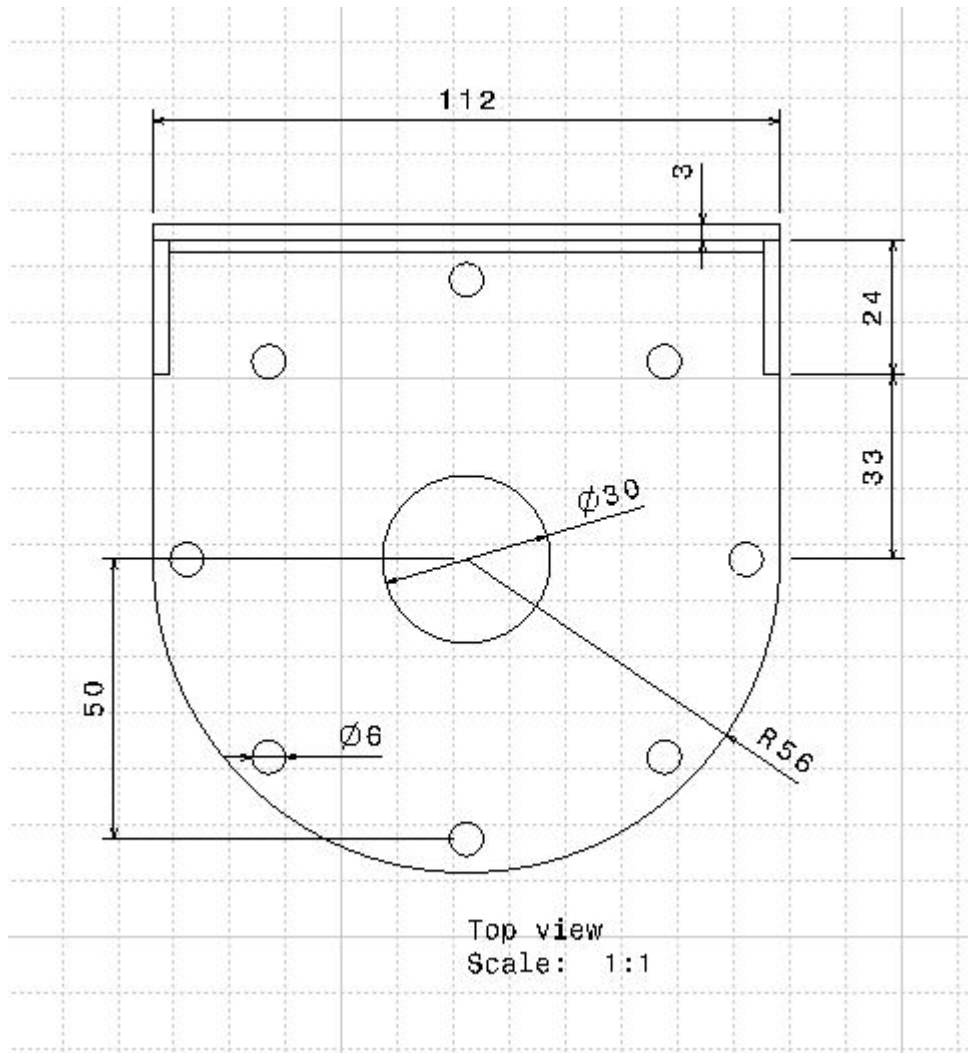


Figura 14 – Vista superior do suporte do diferencial.

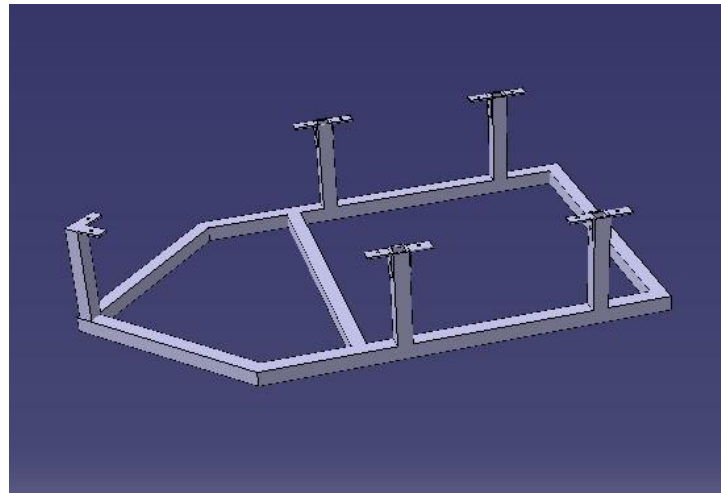


Figura 15 – Estrutura em alumínio com ligações soldadas.

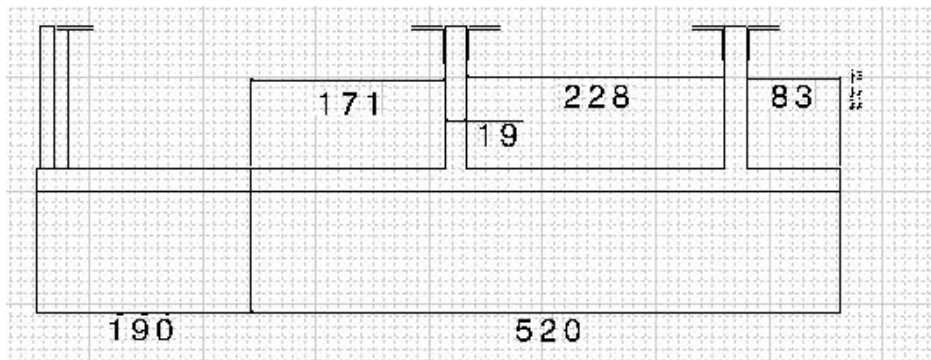


Figura 16 – Vista lateral da estrutura em alumínio.

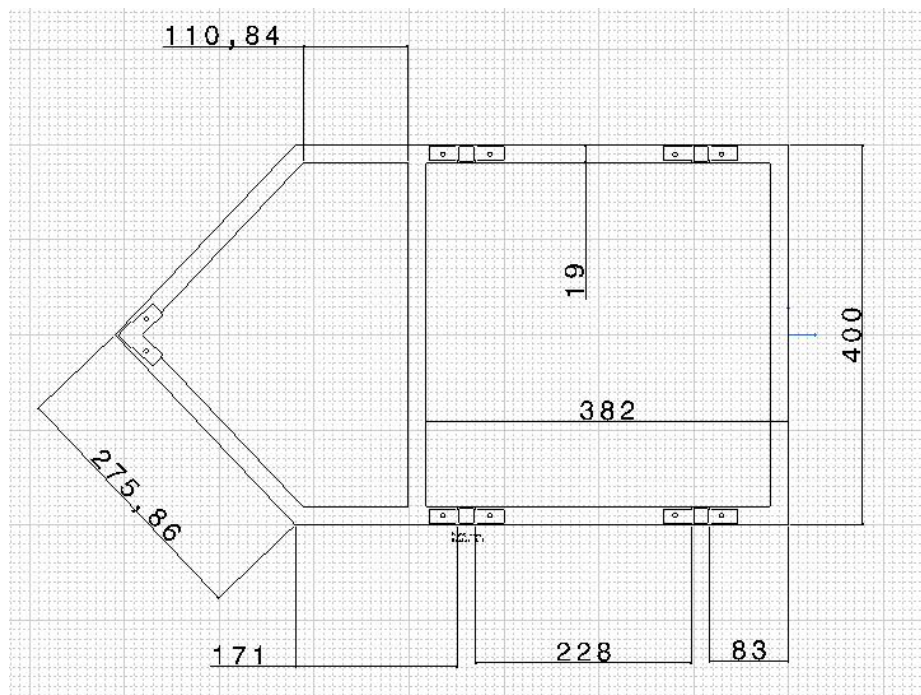


Figura 17 – Vista superior da estrutura em alumínio.

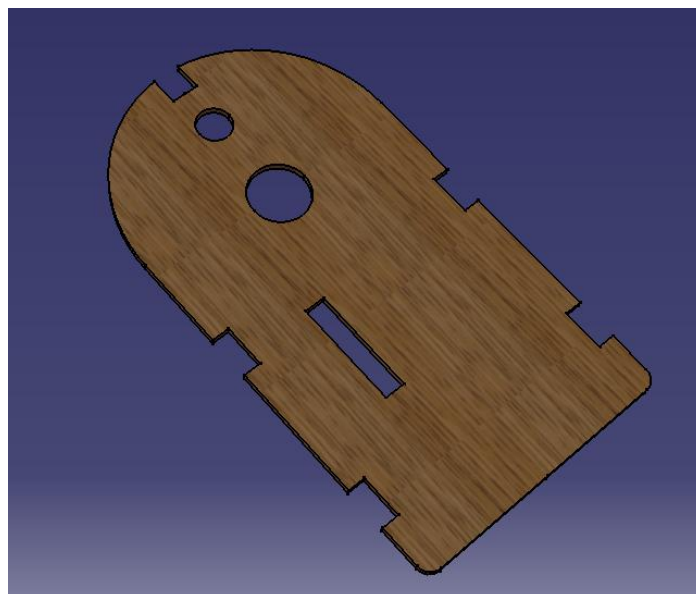


Figura 18 – Piso inferior em madeira.

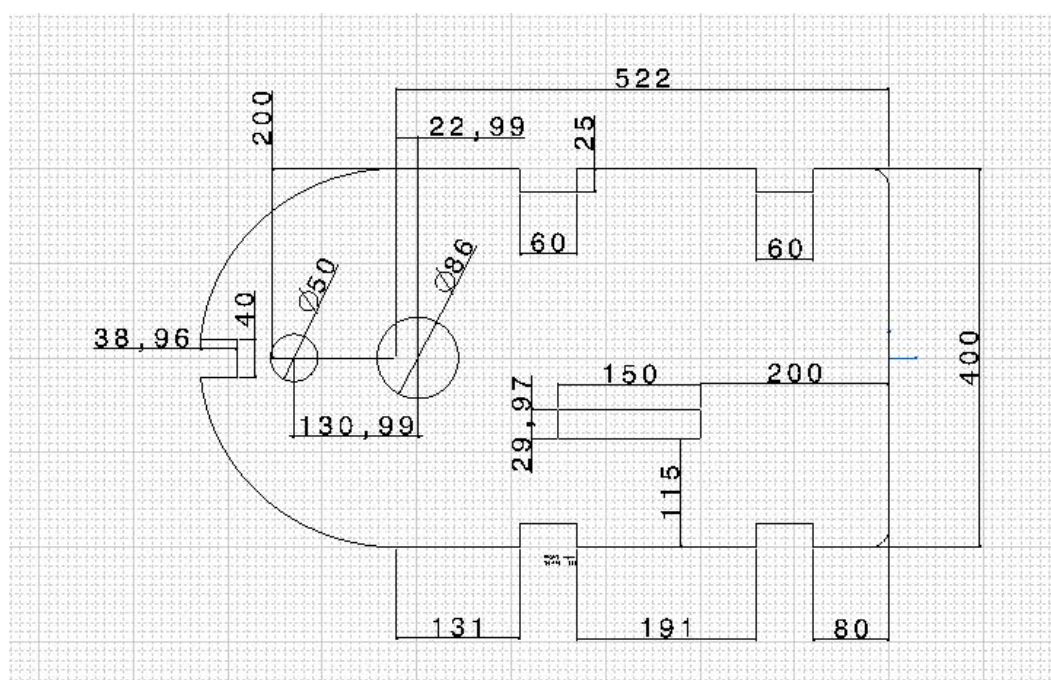


Figura 19 – Vista superior do piso inferior.

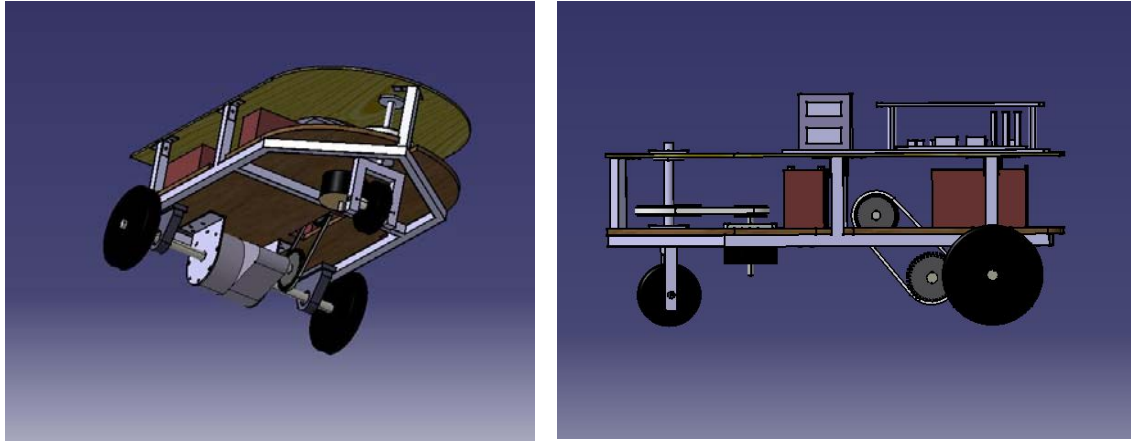


Figura 20 – Vista do robot em fase final de concepção.

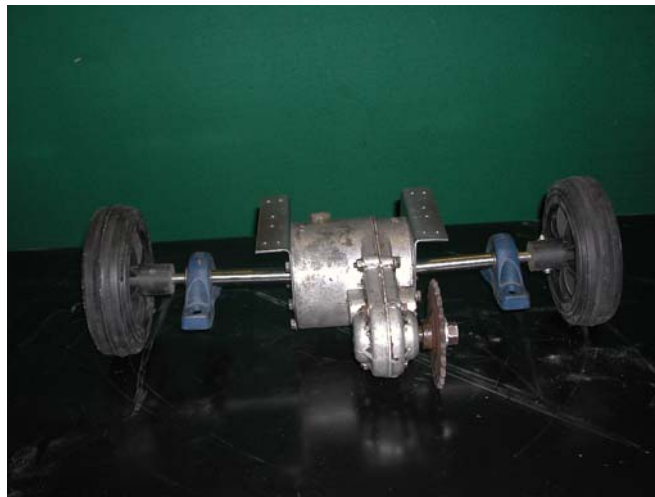


Figura 21 – Montagem do conjunto de tracção.



Figura 22 – Estrutura do robot em fase final de montagem.

3.6 Componentes e acessórios

A alimentação eléctrica é assegurada por quatro baterias, duas ligadas em série (24V) para os motores de tracção e direcção, colocadas transversalmente no meio do robot e outras duas ligadas em paralelo (12V) para alimentação do PC. Para que a fonte de alimentação ATX AC/DC possa funcionar, foi necessário o auxílio de um conversor (Power Inverter) DC/AC, MWDA 200 de 200 W, que converte 12 V corrente contínua em 220V corrente alterna.

Foi equacionado o uso de uma fonte de alimentação ATX DC/DC, que permitia rendimentos muito mais elevados, mas devido ao seu custo a ideia foi abandonada.

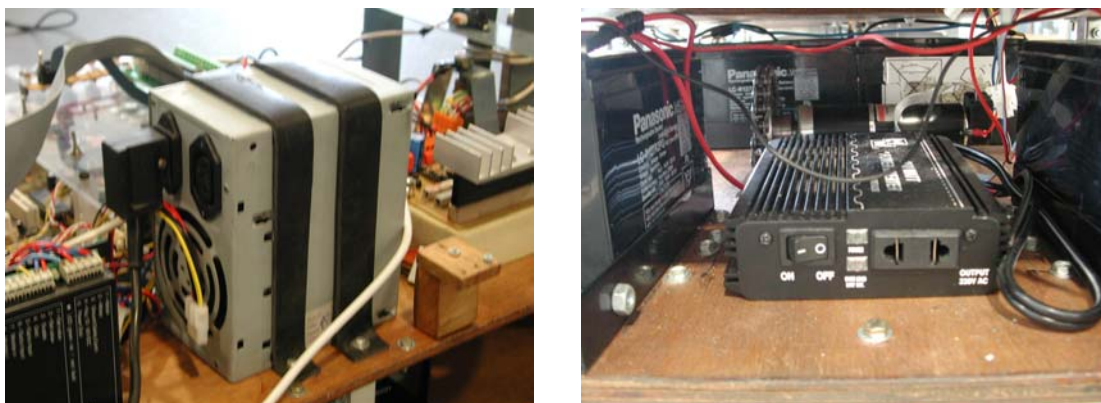


Figura 23 – Fonte de alimentação ATX AC/DC e conversor DC/AC.

FLUXO DE CORRENTE QUE PASSA PELO INVERSOR DC/AC

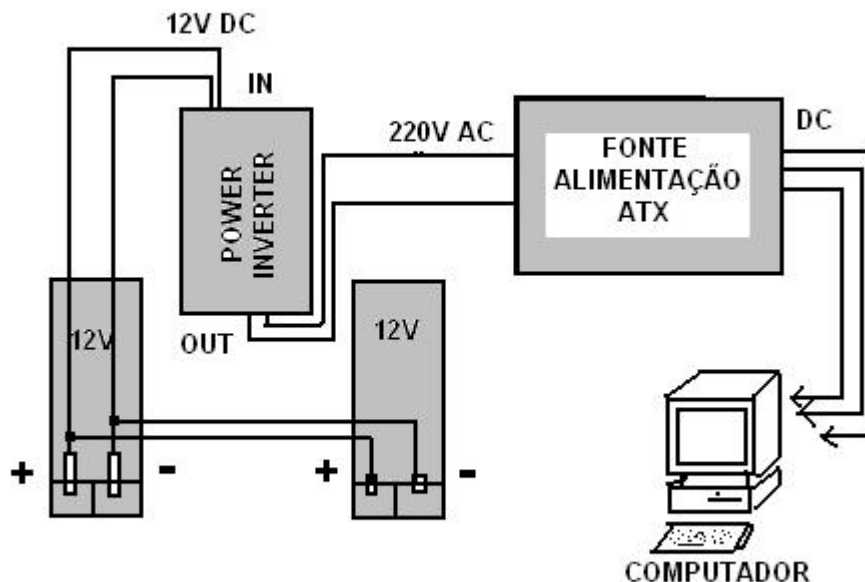


Figura 24 – Diagrama do de ligações e fluxo de corrente do inversor.

Existem dois tipos de transmissão utilizados, um para a tracção e outro para a direcção. Na tracção foi utilizado um sistema de corrente/cremalheira, muito robusto e possibilitou o aproveitamento da cremalheira do diferencial que tem um acoplamento cónico. Na direcção foi utilizado um sistema de correia/roda dentada [4] muito mais ligeiro e com maior precisão, uma vez que o passo da correia é pequeno e as folgas são diminutas.

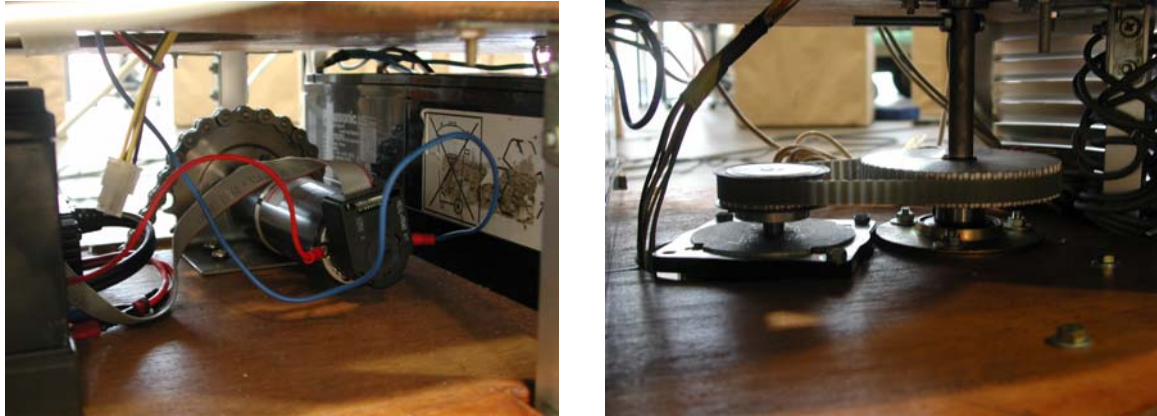


Figura 25 – Transmissões da tracção e direcção.

Devido à elevada velocidade que o robot pode atingir e à sua elevada inércia foi colocado um botão de emergência para segurança das pessoas e objectos circundantes e do próprio robot, que em caso de colisão, pode facilmente danificar e ser danificado. Este é também um dos aspectos imperativos para a participação no Robótica2003.



Figura 26 – Botão de emergência.

4 Percepção

4.1 Sensores

As exigências de autonomia requerem uma percepção sensorial robusta e fiável. Para isso foram utilizadas várias soluções diferentes para os diversos casos de percurso. Para o seguimento das linhas da pista é utilizada visão artificial com o recurso a uma webcam (Philips Toucam Pro) e para detectar a linha da passadeira é utilizado um sensor emissor/receptor infravermelho (Sick WT170-P112), que detecta a cor branca em modo de funcionamento PNP.



Figura 27 – Webcam Philips Toucam pro.



Figura 28 – Sensor da passadeira Sick WT170.

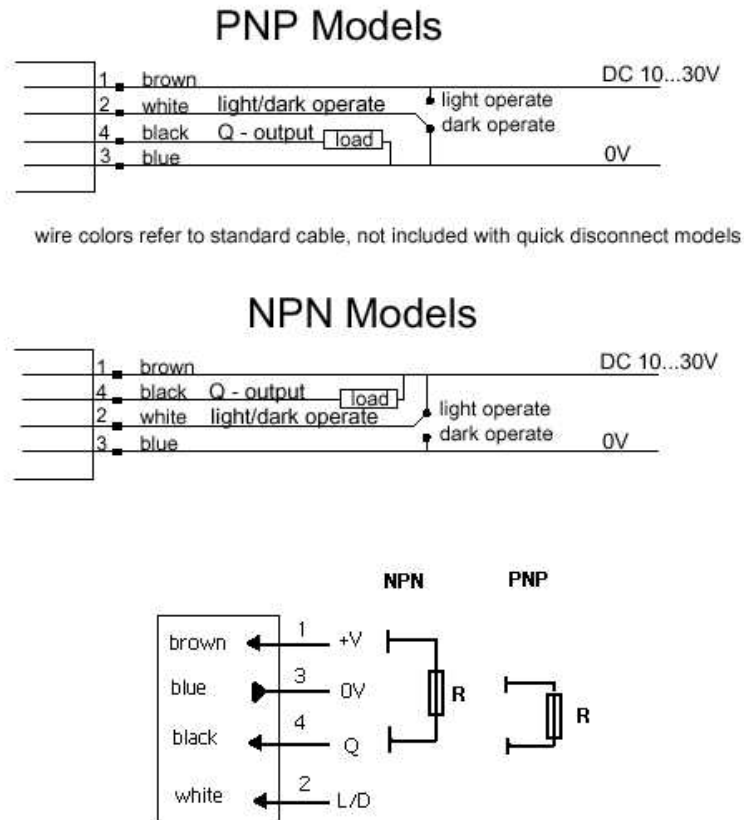


Figura 29 – Esquema das ligações eléctricas do sensor da passadeira WT170.

Com o sistema de aquisição de imagem utilizado não é possível utilizar mais do que uma câmara, por isso, foi necessário utilizar outro método para o reconhecimento dos sinais do semáforo.

A solução adoptada foi a de empregar três receptores digitais de infravermelhos (IS1 U60), que funcionam na gama dos 40 KHz e assim obedecer às ordens que lhe são impostas pelas diversas combinações dos emissores alojados no semáforo.

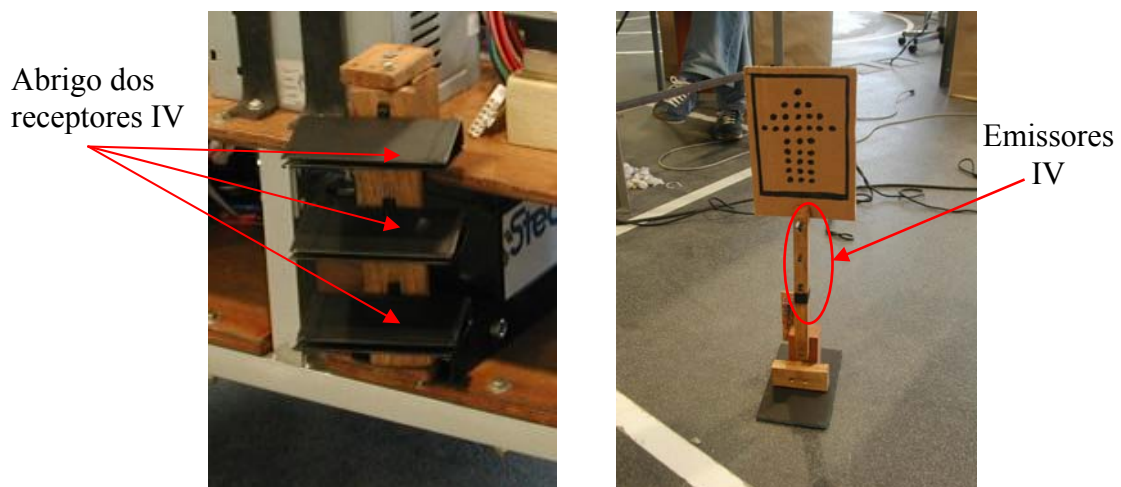


Figura 30 – Suporte dos sensores dos semáforos e protótipo do semáforo.

Para detectar e navegar dentro do túnel, são utilizados dois sensores analógicos de infravermelhos (SHARP GP2D12), que permitem medir a distância de cada um dos lados do robot às paredes laterais do túnel. Um terceiro sensor está apontado ao tecto do túnel e serve unicamente para detectar a presença do mesmo. Estes sensores têm um alcance compreendido entre os 8 e os 80 cm.

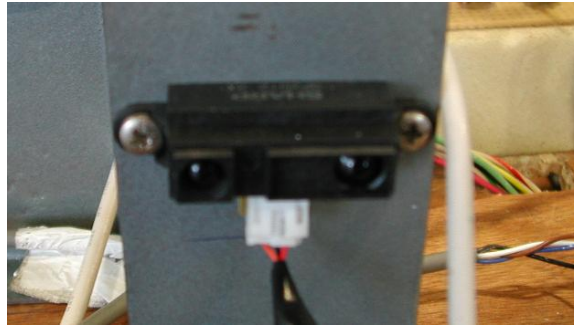


Figura 31 – Sensor de passagem no túnel Sharp GP2D12.

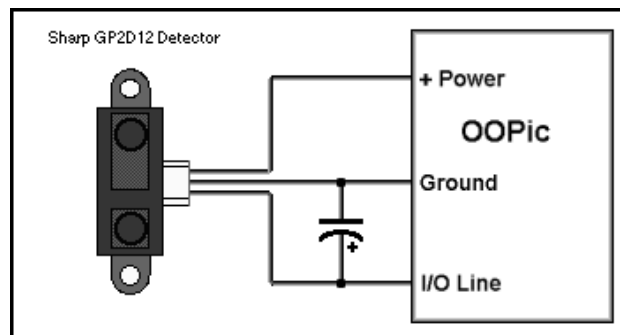


Figura 32 – Esquema de ligações eléctricas do sensor Sharp GP2D12.

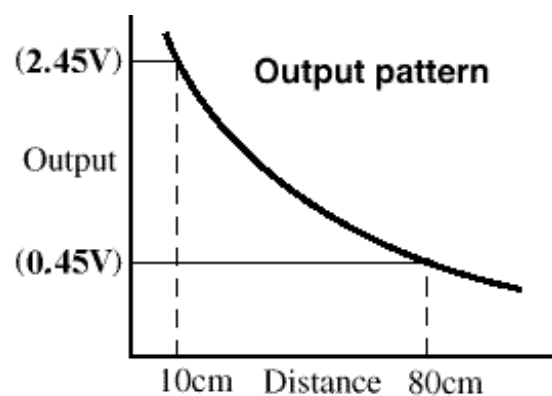


Figura 33 – Curva de calibração do sensor de Sharp GP2D12.

4.2 Espelhos Concorrentes

Para resolver o problema do campo de visão da webcam, que no caso é muito reduzido para ver as duas linhas simultaneamente, foi implementada uma solução com espelhos concorrentes, que formam um ângulo entre si e que estão direccionados para cada uma das linhas.



Figura 34 – Estrutura dos espelhos concorrentes.

Deste modo, os espelhos concentram na mesma imagem da câmara duas imagens diferentes e aumentam consideravelmente o campo de visão do robot. No entanto, esta solução acarreta uma dificuldade para o tratamento da imagem devido à grande distorção da mesma.

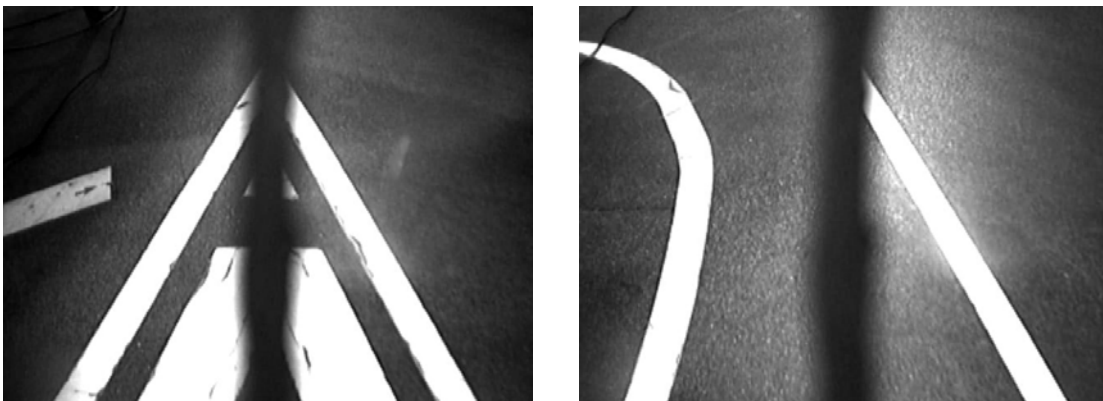


Figura 35 – Imagens da pista obtidas com os espelhos concorrentes.

Numa primeira fase, foi construído um conjunto de espelhos concorrentes que não oferecia muita rigidez e por isso, com as vibrações do robot quando este estava em movimento, também vibrava, pelo que a imagem captada por vezes não era de boa qualidade, podendo mesmo em algumas situações perder a linha da pista, na perspectiva da câmara. Na tentativa de resolver este problema foi construído outro suporte para os

espelhos, mais rígido e com regulação do ângulo lateral através de um pequeno veio. Assim, foi possível eliminar alguma da vibração dos espelhos.

No entanto, esta é ainda uma solução que pode ser desenvolvida no futuro, para que os espelhos estejam completamente solidários com a estrutura do robot, melhorando a qualidade da imagem adquirida e garantir que os parâmetros que influenciam a aquisição de imagem não sofram grandes variações instantâneas.

5 Controlo

5.1 Controlo de Direcção

Para o controlo da direcção foram consideradas várias soluções, nomeadamente, um servomotor DC, ou um motor passo-a-passo em malha aberta ou em malha fechada.

A solução escolhida foi a de utilizar um sistema apelidado de *servostepper*, motor passo-a-passo em malha fechada. É assim possível controlar facilmente o deslocamento angular. A disponibilidade imediata do motor foi uma razão adicional para esta escolha.

Para o efeito foi construído de raiz, um sistema electrónico para controlar a parte lógica e a parte de potência do sistema.

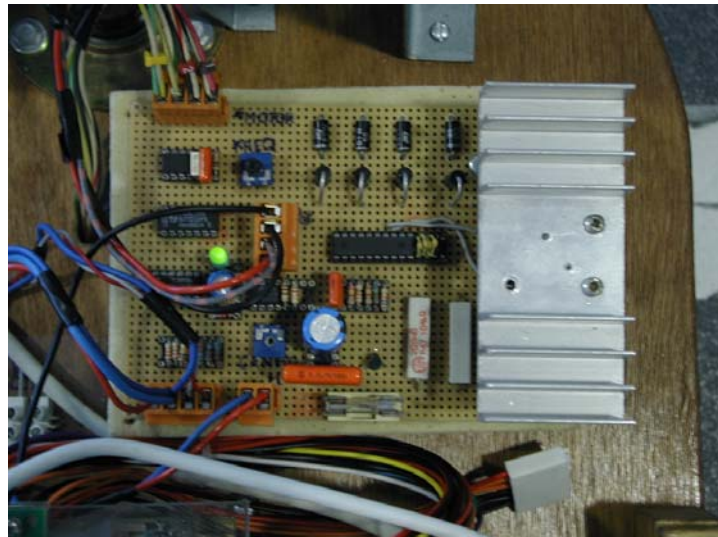


Figura 36 – Servostepper.

Assim, com um potenciómetro montado no veio da direcção pode fazer-se a leitura do ângulo da roda e convertê-lo num sinal eléctrico analógico para ser comparado com o valor enviado pelo computador.

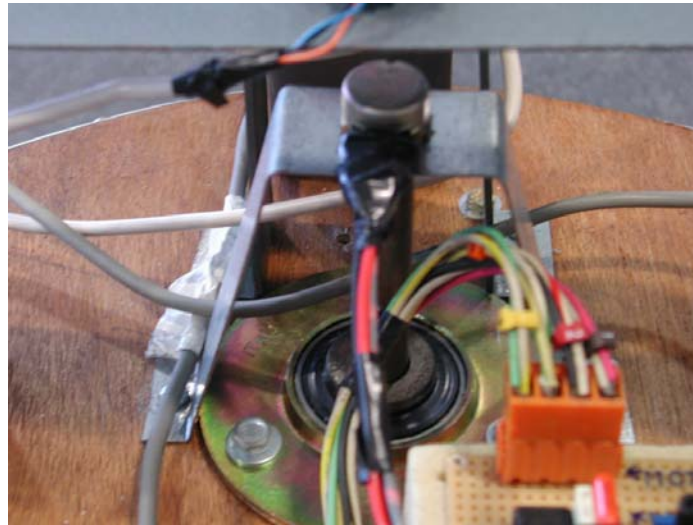


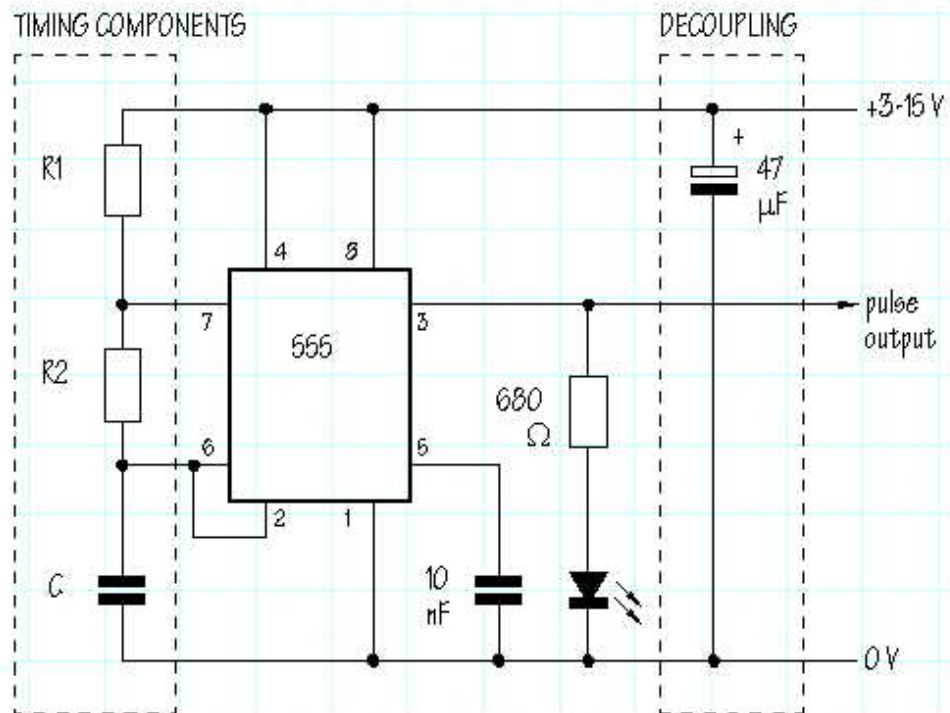
Figura 37 – Suporte e acoplamento do potenciómetro ao veio de direcção.

O valor de referência (V_{ref}) é enviado para o servostepper e o valor real da direcção é lido pelo potenciómetro. Se estes dois valores forem diferentes ou a sua diferença for superior a uma margem estabelecida pelo potenciómetro de regulação do ganho, o *timer* NE555 é activado e começa a gerar pulsos com uma frequência determinada pelo potenciómetro da frequência. A partir do momento em que o L297 estiver ligado, com o enable a 1, sendo este um sinal digital enviado pela carta de aquisição de dados, começa a gerar as fases do motor passo-a-passo. Depois das fases estarem a ser geradas, o L298 encarrega-se da potência do motor alimentando-o a 12V, 3V por fase com um limite de 2A por fase, total de 8A. Este valor de corrente nunca é alcançado porque o fusível do servostepper é de 5A e a corrente consumida pelo motor para desempenhar esta tarefa não chega a esses níveis de corrente.

Quando a leitura do potenciómetro for equivalente à tensão de referência, ou seja, a sua diferença for menor ou igual ao intervalo determinado pelo ganho, o timer NE555 é desactivado até que as tensões de referência ou de leitura, teórica e real, voltem a variar.

O circuito electrónico utilizado para gerar pulsos com o timer NE555 está ilustrado na imagem seguinte e permite gerar uma onda quadrada com uma frequência e um *duty cycle* reguláveis pelas relações descritas nas fórmulas.

O esquema eléctrico do *servostepper* encontra-se em anexo.



$$f = \frac{1.44}{(R1 + 2R2) \times C}$$

$$\text{HIGH time} = 0.69(R1 + R2) \times C$$

$$\text{LOW time} = 0.69(R2 \times C)$$

$$\text{duty cycle} = \frac{\text{HIGH time}}{\text{pulse period time}}$$

Figura 38 – Esquema do circuito e fórmulas para gerar a onda quadrada do NE555. [5]

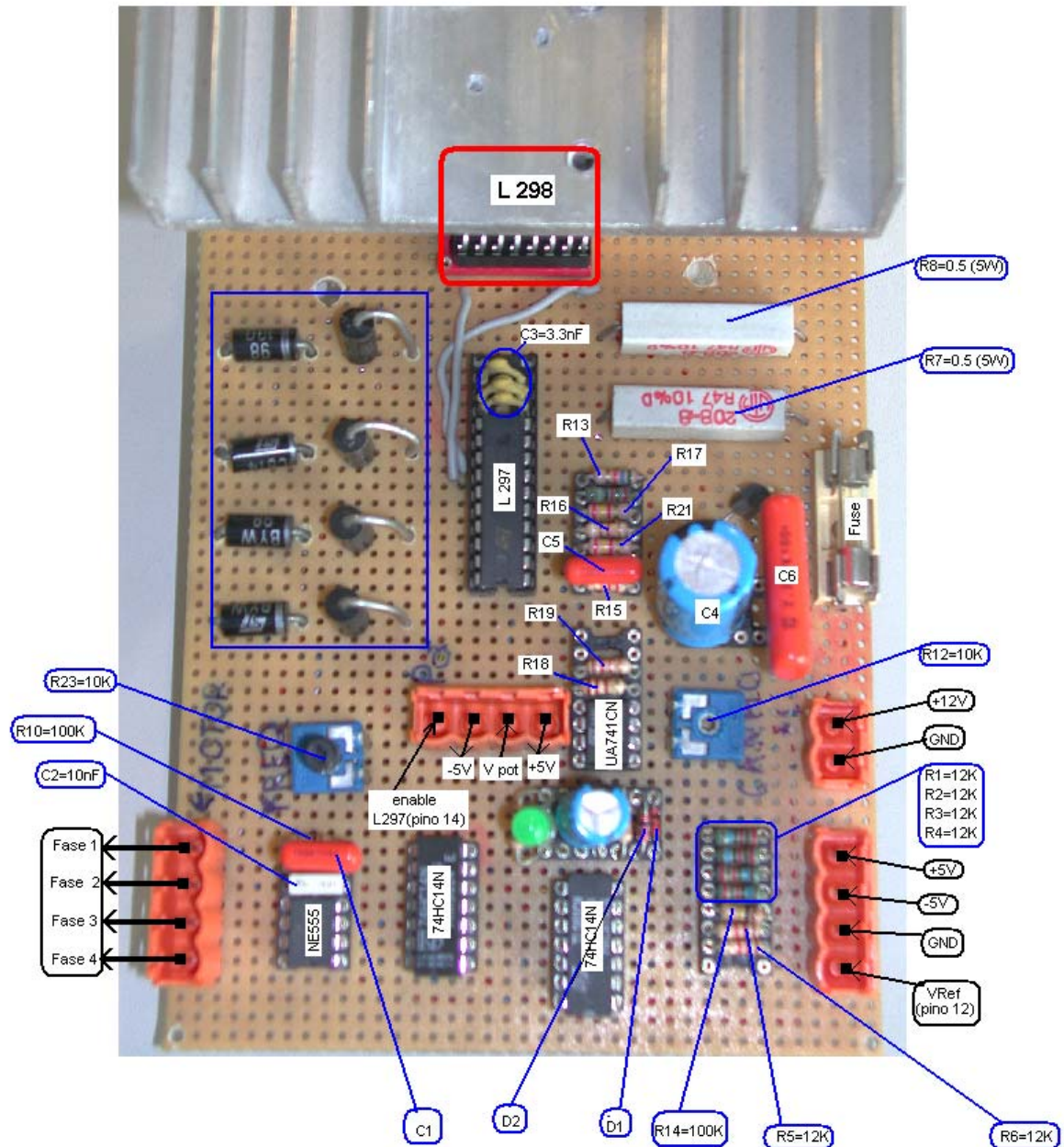
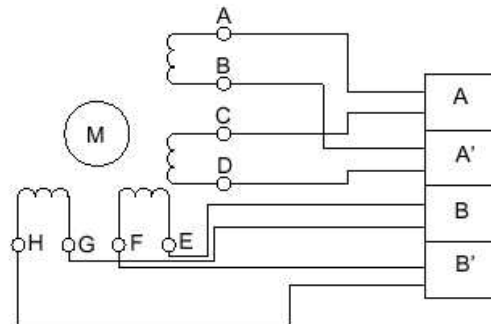


Figura 39 – Descrição do servostepper.

O motor tem um binário de 1.2 N.m e uma resolução de 1.8 °/passo. A transmissão da direcção é executada por um sistema de correia dentada entre duas polias com uma relação de 1:2. O motor é alimentado a 12V.



Figura 40 – Motor passo-a-passo da direcção. [6]



RS stock no.	Position							
	A	B	C	D	E	F	G	H
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
191-8328	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8334	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8340	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8356	Red	Red/White	Black/White	Black	Yellow	Yellow/White	Green/White	Green
191-8362	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
Wire Colours								

Figura 41 – Esquema e diagrama das fases do motor passo-a-passo.

5.2 A Unidade de Tracção

Para a escolha do motor de tracção, foi feito um estudo prévio para estimar a potência e binário necessários ao impulsionar o robot.

Foram usados os seguintes parâmetros conforme as especificações definidas à partida:

- Massa (m) = 30Kg
- Vel. Max (v) = 2m.s⁻¹
- Aceleração (a) = 1m.s⁻²
- Ørodas tracção = 160mm

O número de rotações por minuto nas rodas motrizes é dado por:

$$v = \omega.r = n.2\pi.r \Leftrightarrow 2 = n.2\pi.80 \times 10^{-3} \Leftrightarrow n = 238.7rpm \text{ (rpm à saída)}$$

De seguida apresenta-se o sistema de forças decomposto no sistema de eixos OXY:

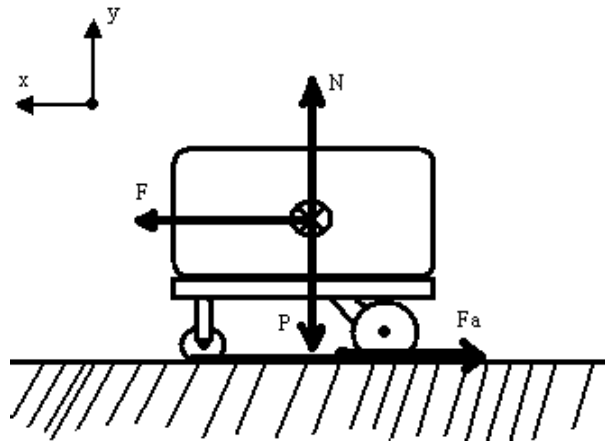


Figura 42 – Esquema das forças aplicadas ao sistema.

F_a = Força de atrito;
 F_r = Força resultante;
 F = Força necessária para o deslocamento nas condições previstas;
 P = Peso do robot;
 N = Reacção normal;
 M_b = Momento na roda
 Coeficiente de atrito $\mu = 0.20$;

$$\begin{cases} F - F_a = F_r \\ P = N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F = F_r + F_a \\ m \cdot g = N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F = m \cdot a + \mu \cdot N_y \\ N_y = 294.6N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F = 88.92N \\ \dots \end{cases}$$

$$M_b = F \times r = 88.92 \cdot 80 \times 10^{-3} \approx 7.1N \cdot m$$

$$Pot = M_b \times \omega = 178Watt$$

Com base nestes valores estimados para a potência (178 W), binário (7.1 N.m) e número de rotações por minuto (239 r.p.m.), procedeu-se à selecção do motor e da caixa redutora que melhor se adaptavam à situação.

Assim, o motor escolhido foi o modelo MAXON RE40:

- Potência debitada = 150W às 7580 r.p.m
- Binário do motor = 181mN.m
- Caixa redutora 1:15 (redução total=1:30). - Binário total =

$$30 \times 181 \times 10^{-3} = 5.43 N.m$$

Estas características satisfazem os requisitos mecânicos do sistema de transmissão de potência, embora não satisfaçam em absoluto os valores previstos inicialmente. A relação custo/potência foi um dos aspectos levados em conta, e por isso, sacrifica-se um pouco os valores previstos para reduzir os custos comportados.

O motor em questão tem uma velocidade angular de 7580 r.p.m. e a velocidade à saída, nas rodas, deve ser de 238.7 r.p.m. A caixa redutora tem uma relação de redução de 1:15, mas tendo em conta que o diferencial tem uma relação de redução de 1:2, a redução total é de 1:30.



Figura 43 – Motor de tracção Maxon RE 40. [7]

Para permitir um controlo de velocidade mais eficiente, o conjunto de potência inclui uma unidade de controlo composta pela carta de potência do motor e por um *encoder* que permite, naturalmente, o controlo da velocidade linear em malha fechada. A alimentação do motor de tracção é feita a 24V de corrente contínua.

5.3 Ligações Eléctricas com a Carta de Aquisição de Dados Labpc+

Para que a interligação entre o software e o hardware seja possível, foi utilizada uma carta de aquisição de dados **Labpc+** da National Instruments[®], que permite ler e gerar sinais analógicos e digitais.

5.3.1 SAIDAS ANALÓGICAS

As saídas analógicas são duas e foram utilizadas para enviar as tensões de referência aos controladores de tracção e direcção.

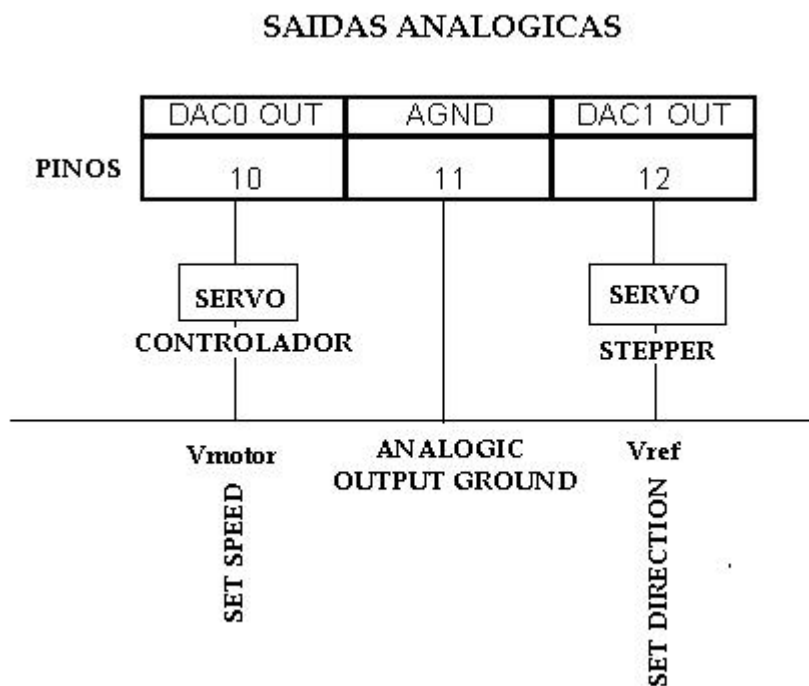


Figura 46 – Esquemas das ligações das saídas analógicas da Labpc+.

5.3.2 ENTRADAS ANALÓGICAS

As entradas analógicas foram utilizadas para fazerem a leitura dos três sensores de passagem no túnel, Sharp GP2D12, que enviam uma tensão que varia dependendo da distância ao obstáculo.

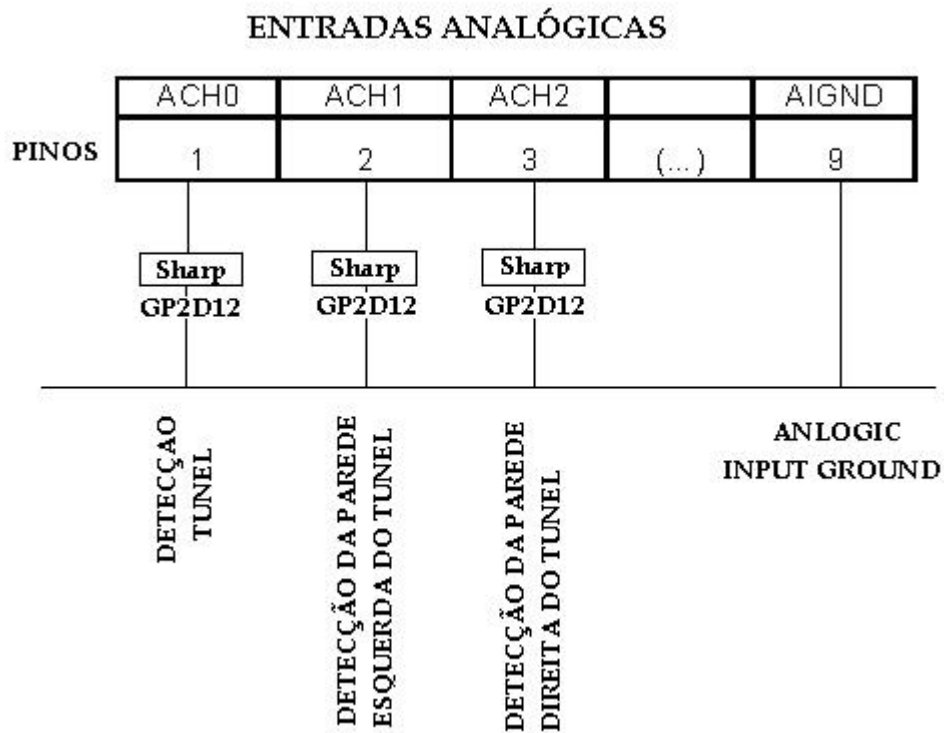


Figura 47 – Esquemas das ligações das entradas analógicas da Labpc+.

5.3.3 SAÍDAS DIGITAIS

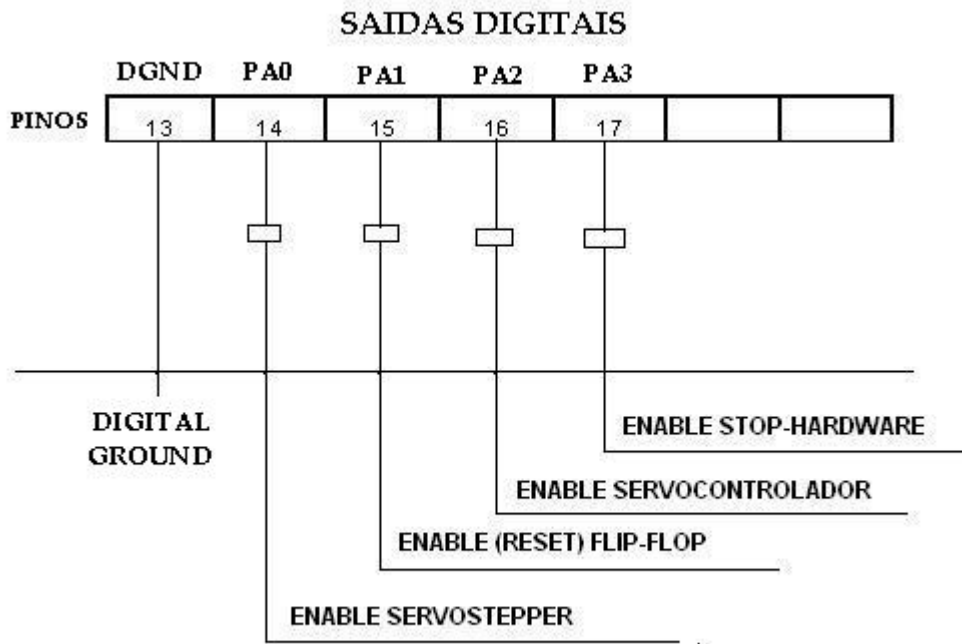


Figura 48 – Esquemas das ligações saídas digitais da Labpc+.

5.3.4 ENTRADAS DIGITAIS

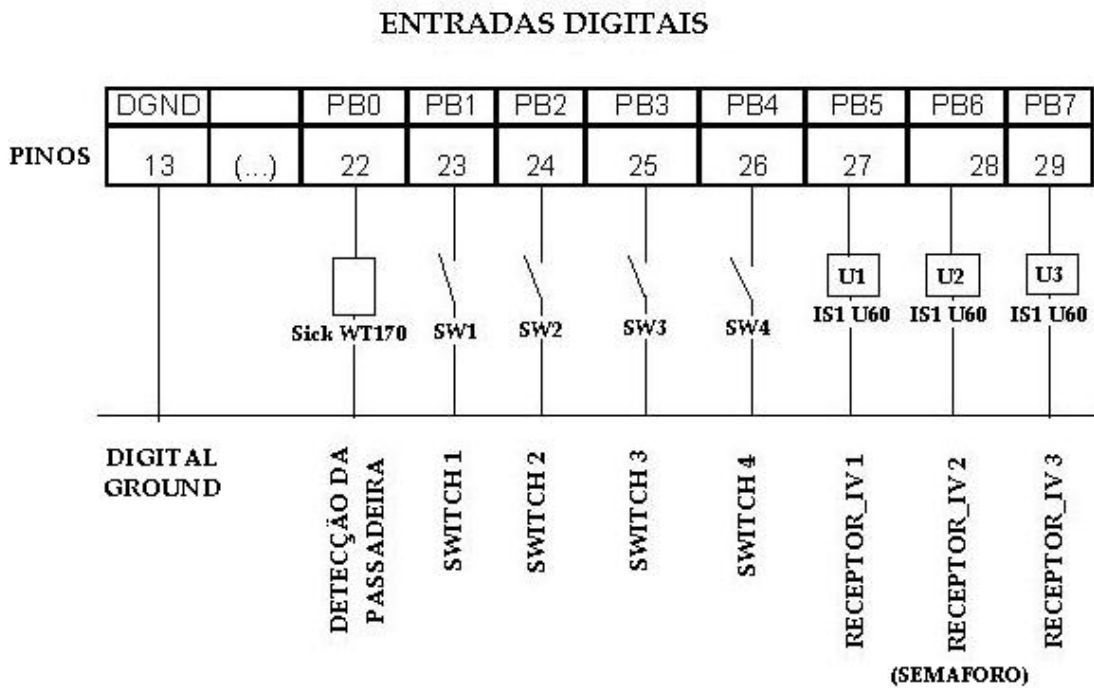


Figura 49 – Esquemas das ligações das entradas digitais da Labpc+.

5.4 Placas electrónicas e de Controlo

5.4.1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Para alimentar certos componentes a +5V e -5V foi criada uma fonte de alimentação com os integrados L7805 e L7905.

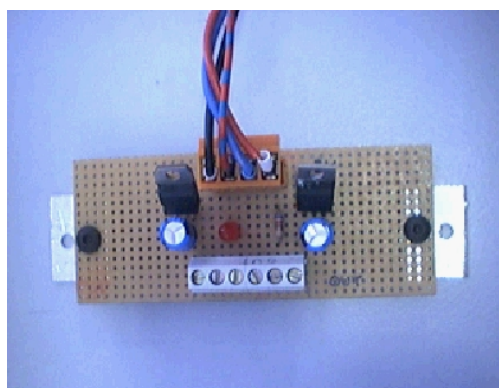


Figura 50 – Fonte de alimentação.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO

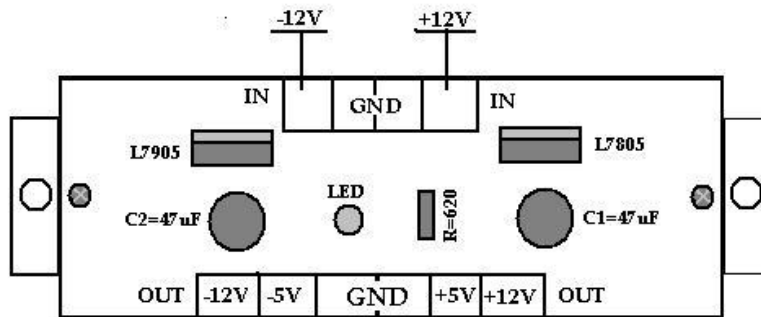


Figura 51 – Diagrama da fonte de alimentação.

ESQUEMA ELECTRICO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

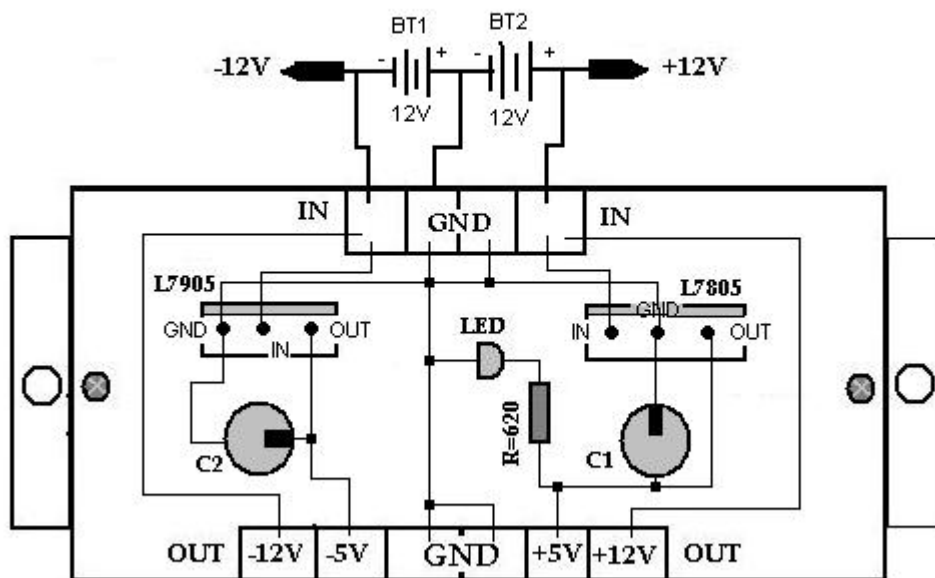


Figura 52 – Esquema eléctrico da fonte de alimentação.

5.4.2 STOP POR HARDWARE

Devido à elevada inércia do robot, quando este se movimentava a grandes velocidades não conseguia parar na passadeira em espaço útil, devido ao desfasamento que havia entre o momento em que o sensor detecta a passadeira e o momento em que o software activa a função que lhe é dedicada. Foi então implementado um dispositivo que colocava automaticamente o valor da tensão de referencia do motor (V_{motor}) a zero, fazendo com que parasse imediatamente.

No entanto, devido a problemas com curto-circuitos que não foram solucionados, este dispositivo acabou por não ser utilizado o que não impede de o ser no futuro.

Na mesma placa encontra-se também o enable a 12V do controlador do motor de tracção. Este dispositivo também acabou por não ser utilizado uma vez que o servo controlador pode fazer o enable a 5V com um sinal digital vindo directamente da Labpc+.

O esquema eléctrico encontra-se em anexo.

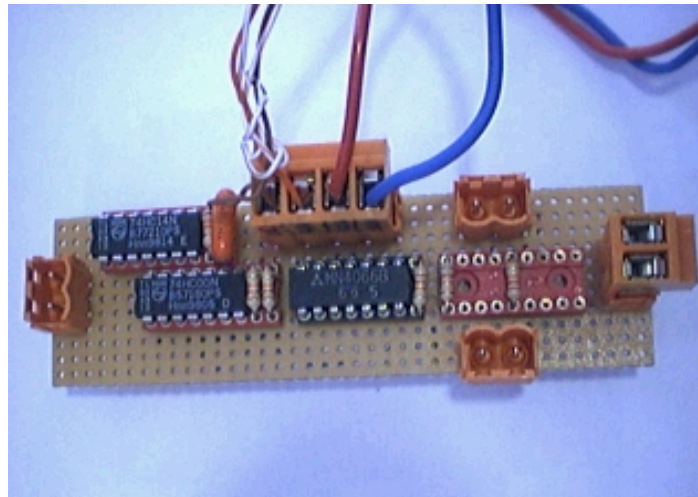


Figura 53 – Stop por hardware.

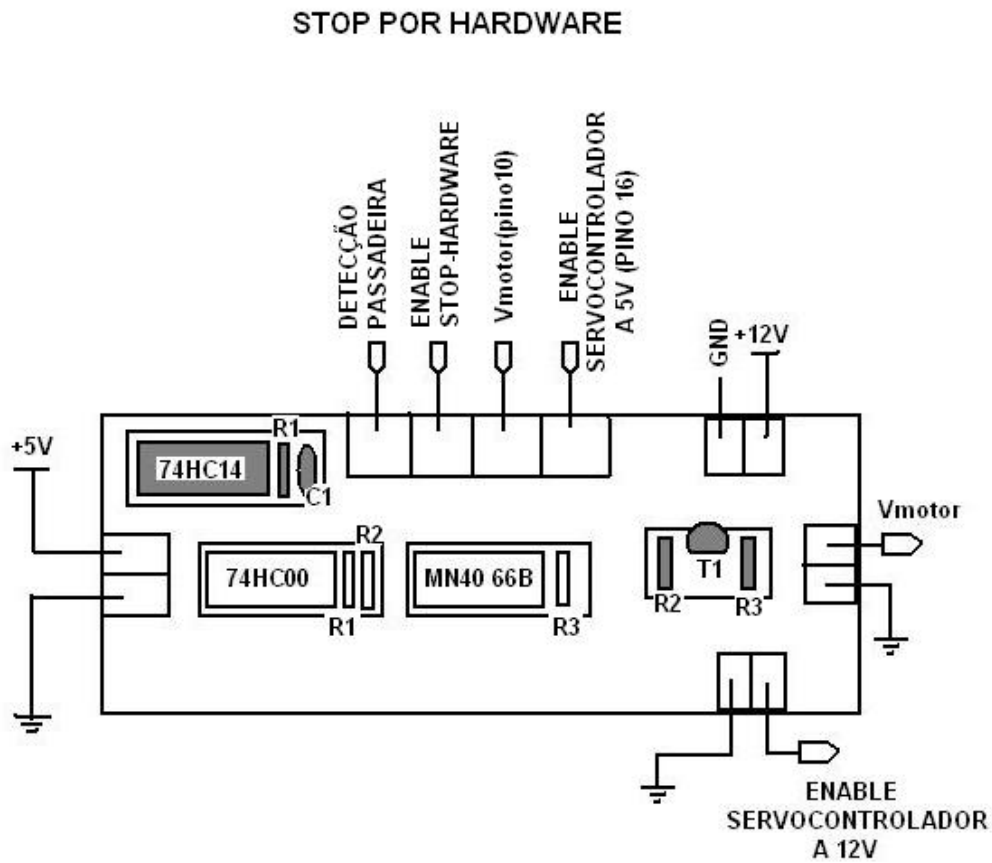


Figura 54 – Diagrama do stop por hardware.

5.4.2.1 Enable do servocontrolador a 12V

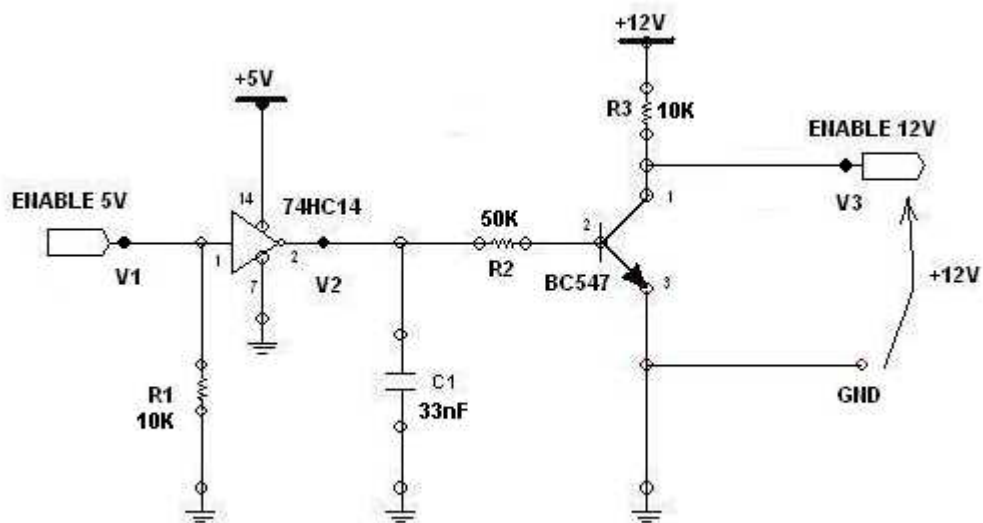


Figura 55 – Esquema eléctrico do enable a 12V.

A porta lógica 74HC14 permite negar e inverter o sinal de entrada para que quando V1 for de 5V V3 seja de 12V.

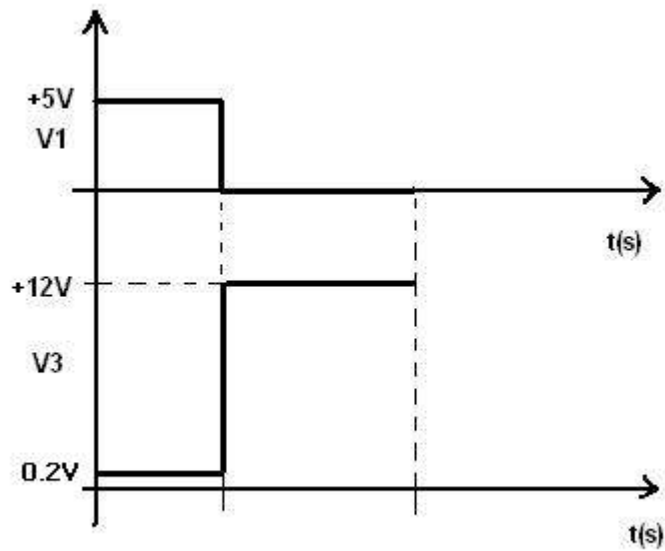


Figura 56 – Esquema das tensões **sem** a porta lógica 74HC14.

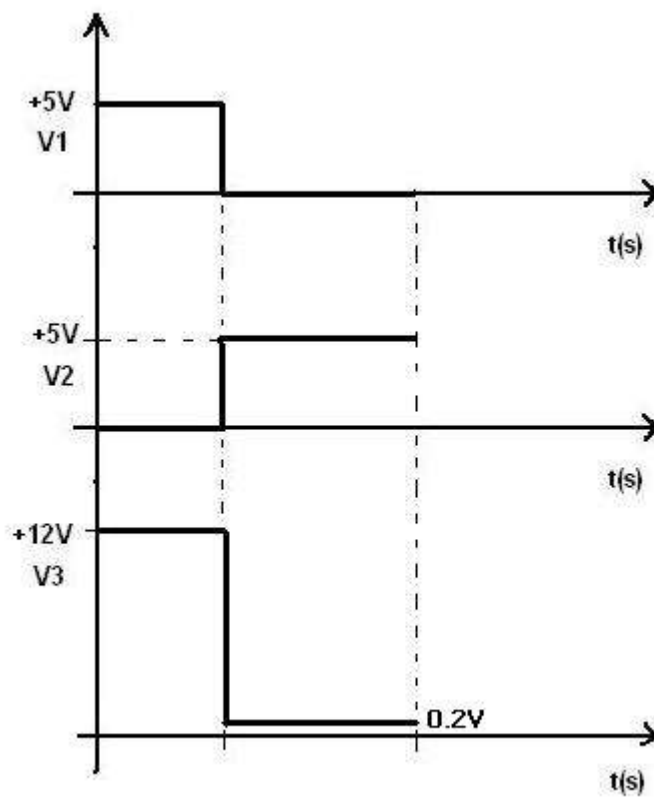


Figura 57 – Esquema das tensões **com** a porta lógica 74HC14.

5.4.3 RECEPTOR DO SEMÁFORO E FLIP-FLOP

Este dispositivo permite fazer a leitura dos semáforos que contêm três emissores de infra-vermelhos. Para garantir que cada receptor detecte apenas o seu emissor correspondente, é necessário colocá-los à mesma altura e os receptores dentro de abrigos que impeçam as ondas infra-vermelhas dos três se cruzarem e assim induzir a leitura em erro.

Para além dos receptores IV, também se encontra aqui um *Flip-Flop* que fica activo quando o sensor da passadeira envia um sinal de passagem. Assim garante-se que o programa sabe sempre que passou na passadeira, fazendo o reset do flip-flop no momento mais apropriado.

Os respectivos esquemas eléctricos encontram-se em anexo.

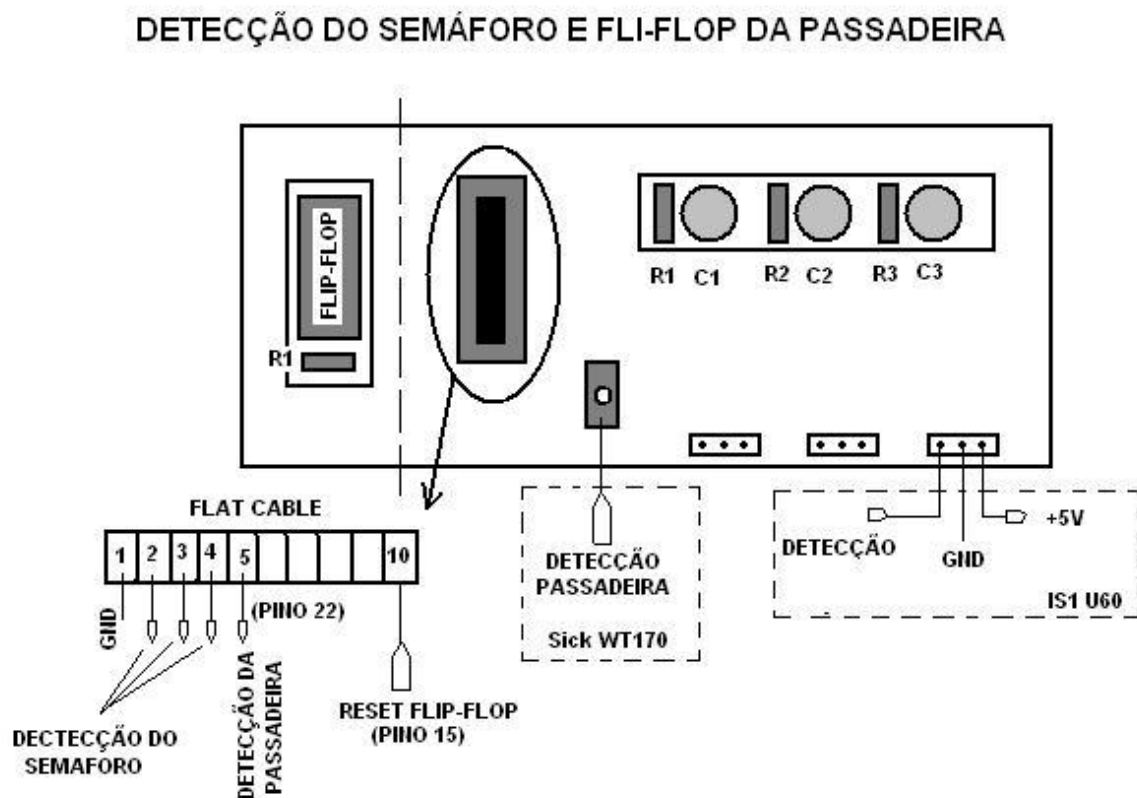


Figura 58 – Diagrama da placa dos receptores IV dos semáforos e Flip-Flop.

5.4.4 SWITCHES

Os switches permitem seleccionar várias modalidades do programa de controlo. Envia uma tensão de 5V quando estão activos para uma entrada digital da carta de aquisição de dados.

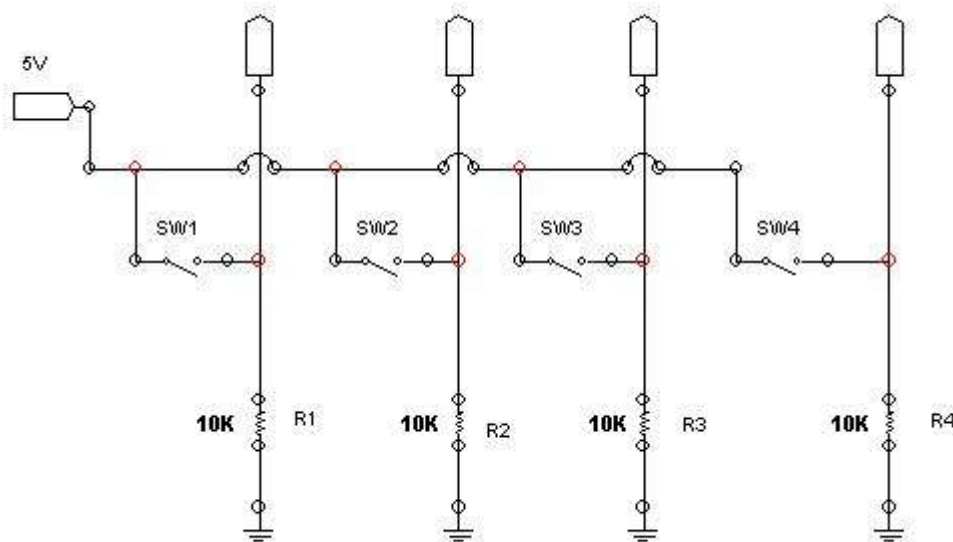


Figura 59 – Esquema eléctrico dos switches.

SWITCHES

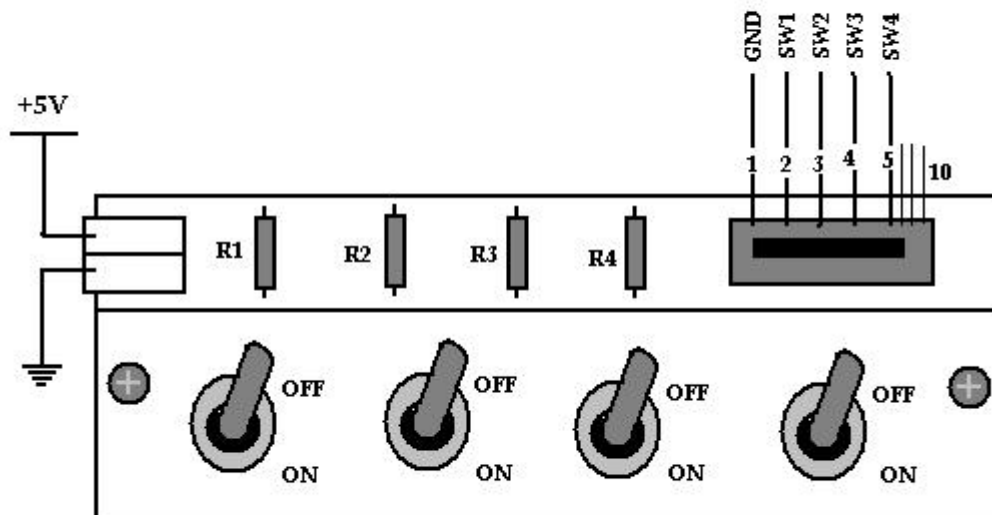


Figura 60 – Diagrama da placa portadora dos switches.

5.4.5 CONECTORES

Os conectores permitem fazer a distribuição das tensões para que a ligação de um novo dispositivo possa ser rápida acessível. Existem duas destas placas, uma que distribui as tensões das baterias e outra que extrai corrente da fonte de alimentação ATX do computador.

CONECTORES PARA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES

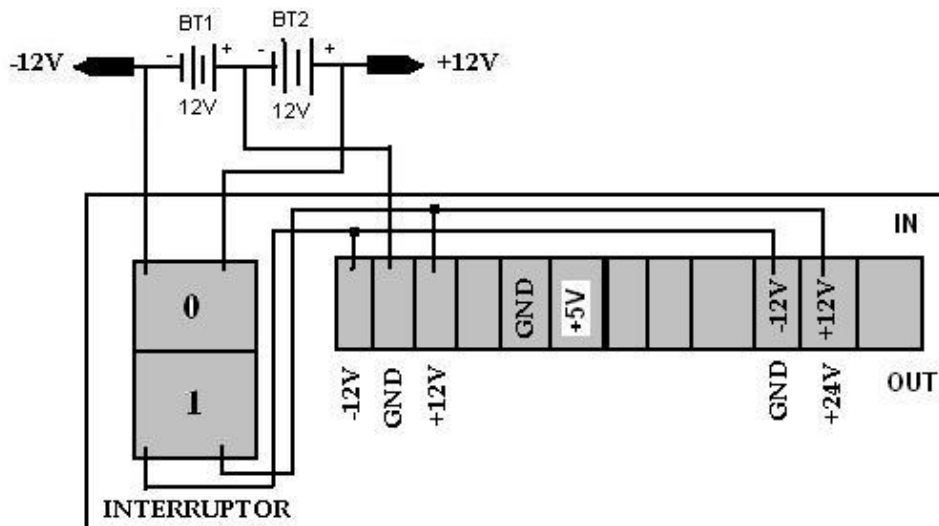


Figura 61 – Diagrama dos conectores com corrente das baterias.

TENSÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO ATX

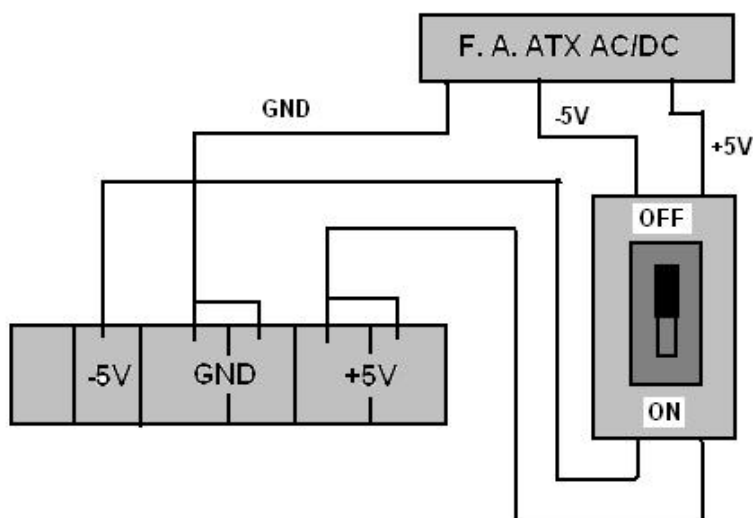


Figura 62 – Diagrama dos conectores com corrente da fonte de alimentação ATX.

5.5 Algoritmos de Navegação

Para a navegação, o processamento das imagens captadas da pista é feito através de um algoritmo dedicado. Inicialmente é tirada uma imagem da pista e depois dividida em duas. Dependendo da direcção que o robot tenha que tomar no cruzamento, seguir em frente ou virar à esquerda, o algoritmo analisa primeiro a imagem da direita ou a da esquerda respectivamente, e o processamento da segunda só é feito caso não exista linha na primeira.

Assim, são extraídas as coordenadas de um ponto da linha que são as do pixel branco com o máximo de x e o mínimo de y se temos a imagem da esquerda, ou o máximo de x e o máximo de y se temos a imagem da direita, ou seja, primeiro é feito um varrimento da imagem no eixo x para procurar o pixel branco mais distante e depois a partir dessa coordenada é feito um novo varrimento no eixo y para calcular a distância, em pixels, ao centro da imagem. Este valor, que é um offset relacionado com o centro da pista, é multiplicado por um ganho que dá o valor do ângulo real necessário para mudar de direcção.

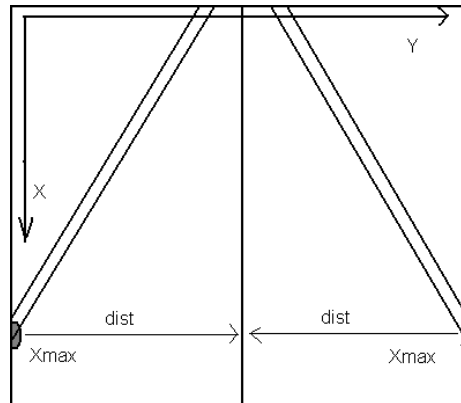


Figura 63 – Esquema do cálculo das distâncias ao centro da pista, situação optima de posicionamento do robot (centro da pista).

Sabendo, experimentalmente, o valor da distância real a que corresponde a distância em pixels da imagem na situação ideal que é o centro da pista em situação de recta, caso o robot se situe deslocado é possível saber a diferença das distâncias real e ideal e determinar a direcção a tomar:

$$Vref_i = (Vreal - Videal) \times Kp + [(Vreal - Videal) - Vref_{i-1}] \times Kd$$

$Vref_i$ = Tensão actual para enviar ao *servostepper*

$Videal$ = Valor da tensão em situação de recta (valor de referência)

$Vref_{i-1}$ = Tensão enviada ao *servostepper* no ciclo anterior

Kp = Constante do controlo proporcional

Kd = Constante do controlo derivativo

Ver fluxograma em anexo.

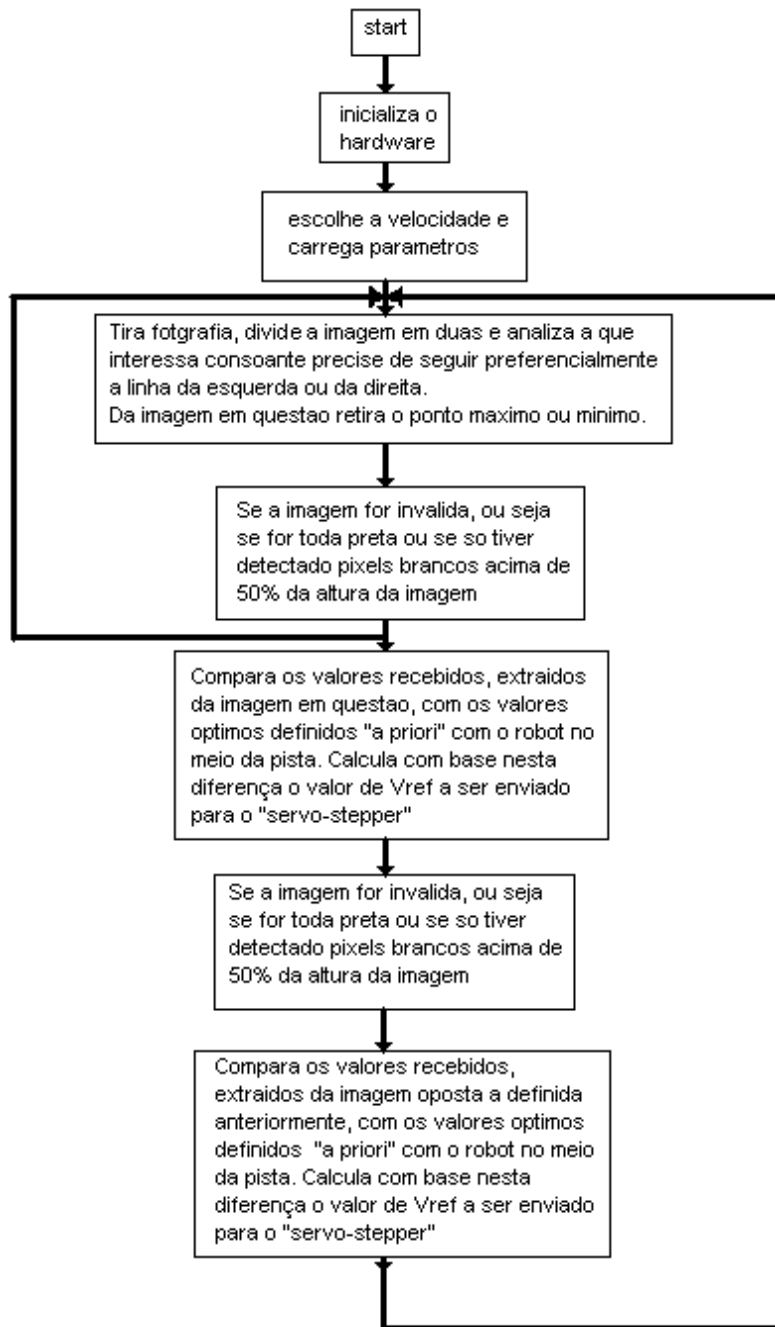


Figura 64 – Fluxograma de navegação do programa principal.

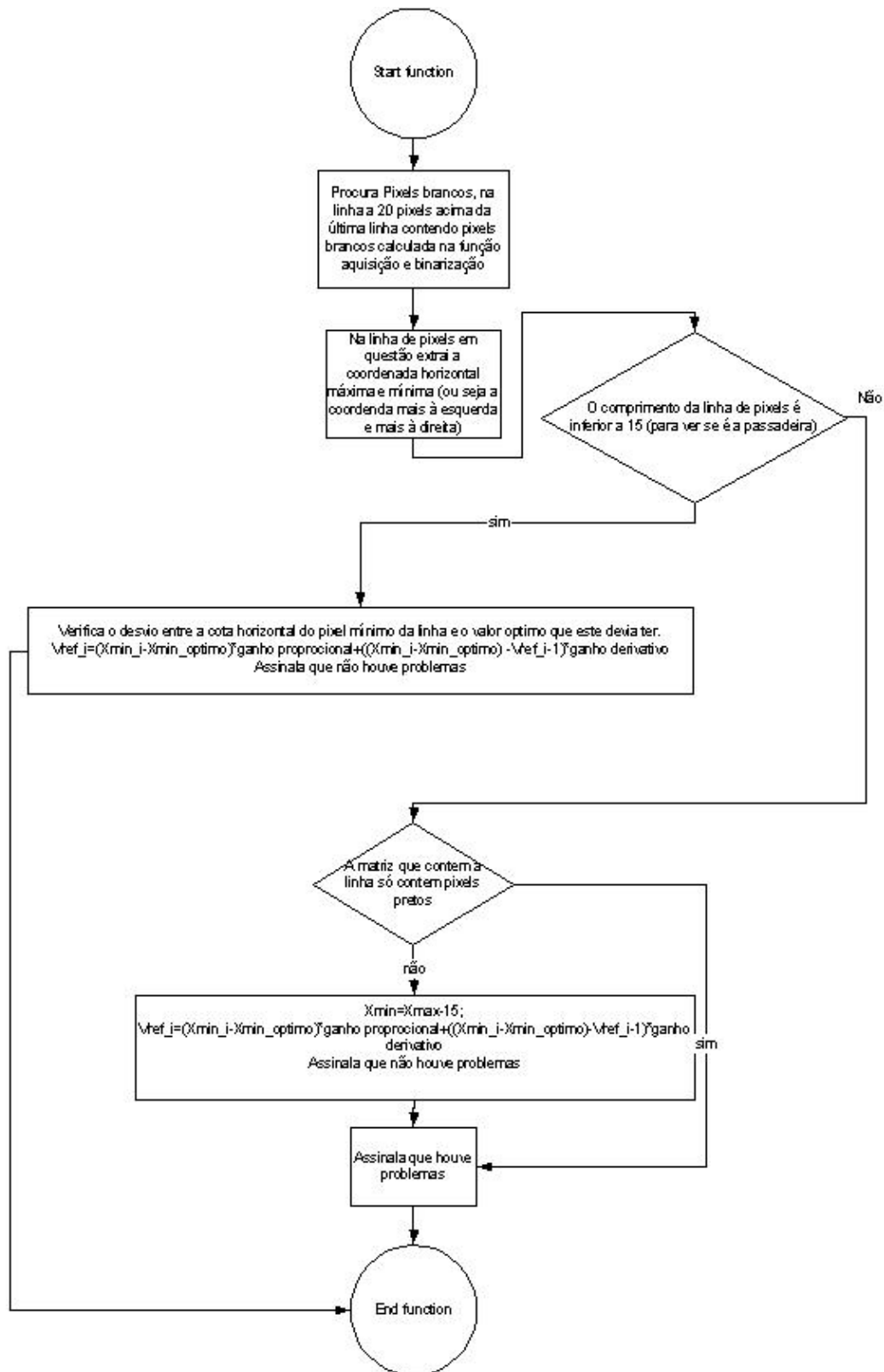


Figura 65 – Fluxograma de controlo com seguimento pela linha da direita.

5.5.1 Algoritmo da 1ª Manga

Na 1ª manga o programa primeiro inicia as variáveis e o hardware tais como as indexações das portas analógicas e digitais, e determina as dimensões da imagem com que se vai trabalhar.

De seguida entra num ciclo à espera que se escolha a velocidade, e com esta escolha carrega outros parâmetros de acordo com a velocidade pretendida. A partir desse ponto espera pelo sinal de arranque e com a partir deste limpa o flip-flop e inicializa a zero o número de passagens pela passadeira assim como o temporizador que servirá para determinar a validade das passagens. Esta validação é determinada através do tempo que passou entre uma passagem e outra, se o intervalo de tempo entre uma passagem e outra for superior ao um valor estipulado então a passagem é válida e guarda e incrementa numa variável o número de passagens. Quando o número de passagens for igual a 5, ou seja, o robot para completar duas voltas tem de detectar a passadeira cinco vezes, pois quando arranca da passadeira, essa passagem também é validada.

Ver fluxograma em anexo.

5.5.2 Algoritmo da 2ª Manga

Na 2ª manga o programa primeiro inicia as variáveis tais como as indexações das portas analógicas e digitais e determina as dimensões da imagem com que se vai trabalhar. De seguida entra num ciclo à espera que se escolha a velocidade, e com esta escolha carrega este valor numa variável de acordo com a velocidade pretendida.

A partir desse ponto espera pelo sinal de arranque, limpa o flip-flop e inicializa a zero o número de passagens pela passadeira assim como o temporizador que servirá para determinar a validade das passagens. Esta validação é determinada através do tempo que passou entre uma passagem e outra, se o intervalo de tempo entre uma passagem e outra for superior a um valor estipulado então a passagem é válida. Depois o robot lê os valores dos canais digitais correspondentes aos sensores IV e guarda os numa matriz. Com base na combinação desta matriz o robot vai determinar qual a sua tarefa.

Se a combinação for:

“001”-O robot para

“010”-Segue em frente, ou seja o algoritmo de navegação passa a ser o de olhar preferencialmente para linha da esquerda e só olha para a da direita quando não tem linha na da esquerda.

“100”-Vai pela esquerda. Que não é mais que o inverso da anterior, ou seja, olha preferencialmente para a linha da direita, e só olha para a outra quando não tem linha nesta.

“111”-Fim de passagem. Informa o robot que este acabou a prova e tem de parar.

“110”-Vai para o parque. Quando detecta esta situação, o robot meramente executa uma série de movimentos, em malha aberta, sincronizados no tempo que o levarão até ao parque.

Numa ou noutra das situações de seguir em frente ou seguir pela esquerda, o robot enquanto executa o algoritmo de navegação vai procurando detectar e validar a linha da passadeira. Se esta for detectada e válida, o robot pára, volta a ler os sensores dos semáforos e executa a tarefa que a combinação deles exigir.

Ver fluxograma em anexo.

5.5.3 Algoritmo da 3ª Manga

Na 3ª manga o programa primeiro inicia as variáveis tais como as indexações das portas analógicas e digitais e determina as dimensões da imagem com que se vai trabalhar.

De seguida entra num ciclo à espera que se escolha a velocidade, e com esta escolha carrega o valor numa variável de acordo com a velocidade pretendida. Esta variável servirá depois, em tarefas de navegação propriamente ditas (seguir em frente e seguir pela esquerda), para direccionar o algoritmo em relação aos parâmetros que deverá carregar (ganho proporcional, ganho derivativo, coordenadas óptimas dos pixels com o robot no meio da pista, etc.). A partir desse ponto espera pelo sinal de arranque. Quando este se der, limpa o flip-flop e inicializa a zero o número de passagens pela passadeira assim como o temporizador que servirá para determinar a validade das passagens. Esta validação é determinada através do tempo que passou entre uma passagem e outra, se o intervalo de tempo entre uma passagem e outra for superior ao um valor estipulado então a passagem é válida.

A partir deste ponto o robot lê os valores dos canais digitais correspondentes aos sensores IV e guarda numa matriz estes valores. Com base na combinação desta matriz o robot vai determinar qual a sua tarefa.

Se a combinação for:

“001”-O robot para

“010”-Segue em frente, ou seja o algoritmo de navegação passa a ser o de olhar preferencialmente para linha da esquerda e só olha para a da direita quando não tem linha na da esquerda.

“100”-Vai pela esquerda. Que não é mais que o inverso da anterior, ou seja, olha preferencialmente para a linha da direita, e Os olha para a outra quando não tem linha nesta.

“111”-Fim de passagem. Informa o robot que este acabou a prova e tem de parar.

“110”-Vai para o parque. Quando detecta esta situação, o robot meramente executa uma série de movimentos, em malha aberta, sincronizados no tempo que o levarão até ao parque.

Numa ou noutra das situações de seguir em frente ou seguir pela esquerda, o robot enquanto executa o algoritmo de navegação vai procurando detectar e validar a linha da passadeira, assim como a presença do túnel através de um sensor de distância orientado para cima. Quando essa situação for detectada, o algoritmo de navegação dito normal é suspenso e o robot passa a orientar-se com base em outros dois sensores de distância colocados lateralmente, o novo algoritmo simplesmente orienta o robot proporcionalmente à diferença entre o valor do sensor da direita e o sensor da esquerda. Quando a passadeira é detectada e válida, o robot pára, volta a ler os sensores dos semáforos e executa a tarefa que a combinação deles exigir.

Ver fluxograma em anexo.

6 Sistema de Processamento e Interface

A unidade central de controlo e processamento adoptada foi um PC vulgar com um processador Celeron, a 700 MHz e com 448 MB de memória RAM.

A interligação do computador (software) com os actuadores e sensores (hardware) é feita através de uma carta de aquisição de dados LabPC+, da National Instruments®, com a qual se pode ler e enviar sinais digitais e analógicos.

O sistema operativo é o Microsoft Windows 2000 Pro e o ambiente de programação é o MatLab conjugado com o Vídeo For MatLab (VFM) para a aquisição de imagem.

Esta opção foi tomada levando em conta a disponibilidade e simplicidade do hardware e do software.

7 Participação no Festival Robotica2003

A 3ª edição do Festival Nacional de Robótica teve lugar em Lisboa no Centro de Congressos, de 8 a 11 de Maio de 2003 e foi organizada pelo Instituto Superior Técnico. Os resultados obtidos pelo robot ATLAS nas diferentes rondas foram:

1ª Ronda – 3º Lugar com 98 s;

2ª Ronda – 7º Lugar com 546 s;

3ª Ronda – 3º Lugar com 238 s;

Classificação final – 4º Lugar com 882 s.



Figura 66 – Equipa ATLAS.

8 Nova Abordagem de Navegação

No enquadramento da disciplina de Robótica Autónoma e Móvel foi testado um novo **Sistema Preditivo de Seguimento de uma Trajectória com Interrupções e Deformações**. [8]

Para tal, fez-se um novo suporte para a webcam e uma nova colocação da mesma: a cerca de 90 cm de altura em relação ao solo, tendo um campo de visão muito mais abrangente.

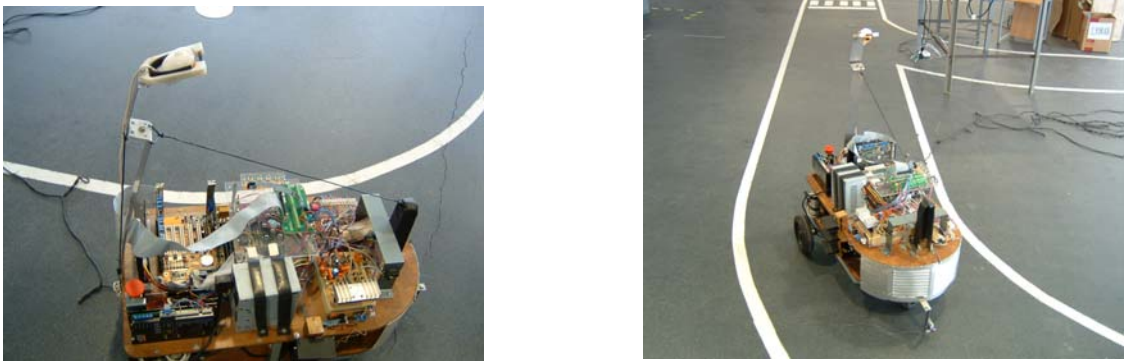


Figura 67 – Robot com nova colocação da webcam.

Conceptualmente o programa estima a trajectória a seguir, sabendo a velocidade real do robot, e três segmentos são obtidos pela decomposição da imagem. A decomposição da imagem é feita pela determinação das linhas de pixels brancos, máxima e mínima, e pela linha média entre as duas. Ao saber a relação entre cada pixel e a sua medida real em metros, é possível determinar a distância real (aproximada) entre cada ponto a atingir. Com o conhecimento da velocidade de deslocamento, estima-se o tempo necessário para percorrer cada segmento, durante o qual, o ângulo da roda da direcção se mantém constante.

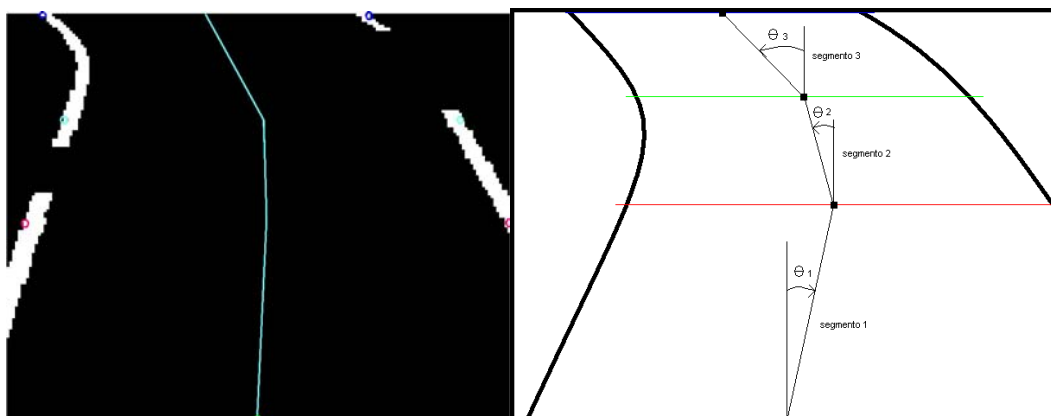


Figura 68 – Esquema dos ângulos calculados e imagem real obtida com o programa de navegação.

Os ângulos ilustrados na figura vão corresponder na realidade, ao ângulo formado entre os dois pontos de cada segmento e a vertical que passa pelo primeiro ponto, multiplicado por um ganho proporcional.

De seguida ilustra-se algumas situações reais na pista e a sua respectiva trajectória a seguir:



Figura 69 – Situação em que vêm as linhas com interrupções, e com obstáculos.

Quando o robot só detecta uma linha, coloca a roda de direcção paralelamente à mesma, e tira uma nova foto para determinar uma nova trajectória que possa conter as duas linhas.

Nas situações em que não existe nenhuma das linhas, não é possível calcular a trajectória porque não há informação suficiente para tal, sendo a trajectória a seguir a última calculada. Se durante o tempo total da última trajectória calculada não for possível adquirir uma nova imagem com informação útil, o robot imobiliza-se. Desta forma o sistema é reactivo se a informação actualizada for válida e preditivo se a informação actualizada não for válida.

O algoritmo é composto pelas seguintes fases:

1º Selecção da velocidade e carregamento de alguns parâmetros através da combinação de quatro switches, colocados na plataforma do robot, um dos quais dá início ao programa de navegação.

2º Adquire uma imagem, processa-a e determina a validade da mesma. Se for válida, continua, caso contrário tira nova foto.

3º Calcula a trajectória virtual.

4º Calcula os ângulos a virar para cada segmento, e os respectivos comprimentos (reais).

5º Estima o tempo necessário para percorrer cada segmento tendo em conta a velocidade seleccionada.

6º Envia os valores dos ângulos calculados para o servostepper que controla a

direcção, e o valor da velocidade para o servo motor de tracção, de acordo com a sua situação no momento. Caso a trajectória determinada anteriormente tenha terminado, e fique impossibilitado de determinar uma nova, o robot pára aguardando nova informação.

7º Volta ao início do ciclo de navegação adquirindo nova imagem (2º passo).

Se em cada imagem adquirida existir informação suficiente para o cálculo de uma nova trajectória, o controlo é reactivo. Se as imagens adquiridas não têm informação suficiente para o cálculo, a trajectória a seguir é a anteriormente calculada, sendo o controlo predictivo.

Embora os resultados obtidos sejam bastante satisfatórios para o cálculo da trajectória, a implementação do programa no terreno teve algumas dificuldades devido à perspectiva da imagem adquirida, uma vez que a imagem não é adquirida na perpendicular em relação ao plano da pista. Assim, a relação entre cada pixel e a distancia real correspondente não é constante, sendo os pixels mais afastados da imagem os que correspondem a variações de distâncias maiores.

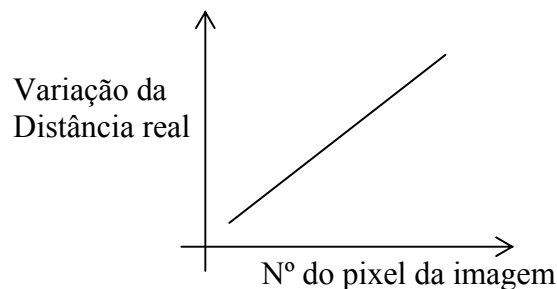


Figura 70 – Espaço real correspondente ao nº do pixel da imagem.

Deste modo, fica a percepção de que este trabalho poderá ser ainda desenvolvido, utilizando transformações de perspectiva e uma parametrização adequada para que o plano virtual corresponda adequadamente ao plano real.

Este sistema de navegação poderia ter sido vantajoso para a participação no Robotica2003, mas carece ainda de aperfeiçoamento e desenvolvimento.

9 Conclusão e Elementos Mais Marcantes

A solução construtiva revelou-se até ao momento apropriada aos objectivos iniciais.

A percepção e software associado mostraram algumas limitações, nomeadamente na utilização do sistema operativo Windows, que não tem uma performance muito elevada e na linguagem de programação Matlab, a qual não permite o controlo em tempo real, sendo necessário esperar que um ciclo termine para começar outro. A velocidades consideráveis, existia grande probabilidade do robot não parar na passadeira, no momento em que o sensor a detectava, porque a função de leitura só era activada momentos mais tarde pelo software.

A solução dos espelhos concorrentes permitiu aumentar consideravelmente o campo de visão do robot. No entanto, esta solução acarreta uma dificuldade para o tratamento da imagem devido à grande distorção provocada pela inclinação dos espelhos. Reconhece-se, contudo, que esta solução poderia ser explorada no futuro com vista à sua optimização.

O diferencial mecânico só apresentou até ao momento dois inconvenientes, que é o seu peso relativamente elevado face aos restantes componentes e as folgas provocadas pelo desgaste ao longo dos vários anos de funcionamento mas, no global, as vantagens com ele obtidas são muito positivas.

Em resumo, neste projecto podem considerar-se alguns elementos relevantes e com alguma inovação nestes concursos:

- Estrutura em alumínio soldado;
- Uso de diferencial mecânico;
- Unidade robusta de controlo de direcção (servostepper);
- Sistema de percepção baseado em espelhos concorrentes.

Desta forma, foi possível construir um robot robusto que satisfaz os objectivos inicialmente propostos de participar no 3º Festival Nacional de Robótica, tendo alcançado uma classificação honrosa e que pode ser ainda desenvolvido para participações futuras ao nível do controlo e software.

BIBLIOGRAFIA

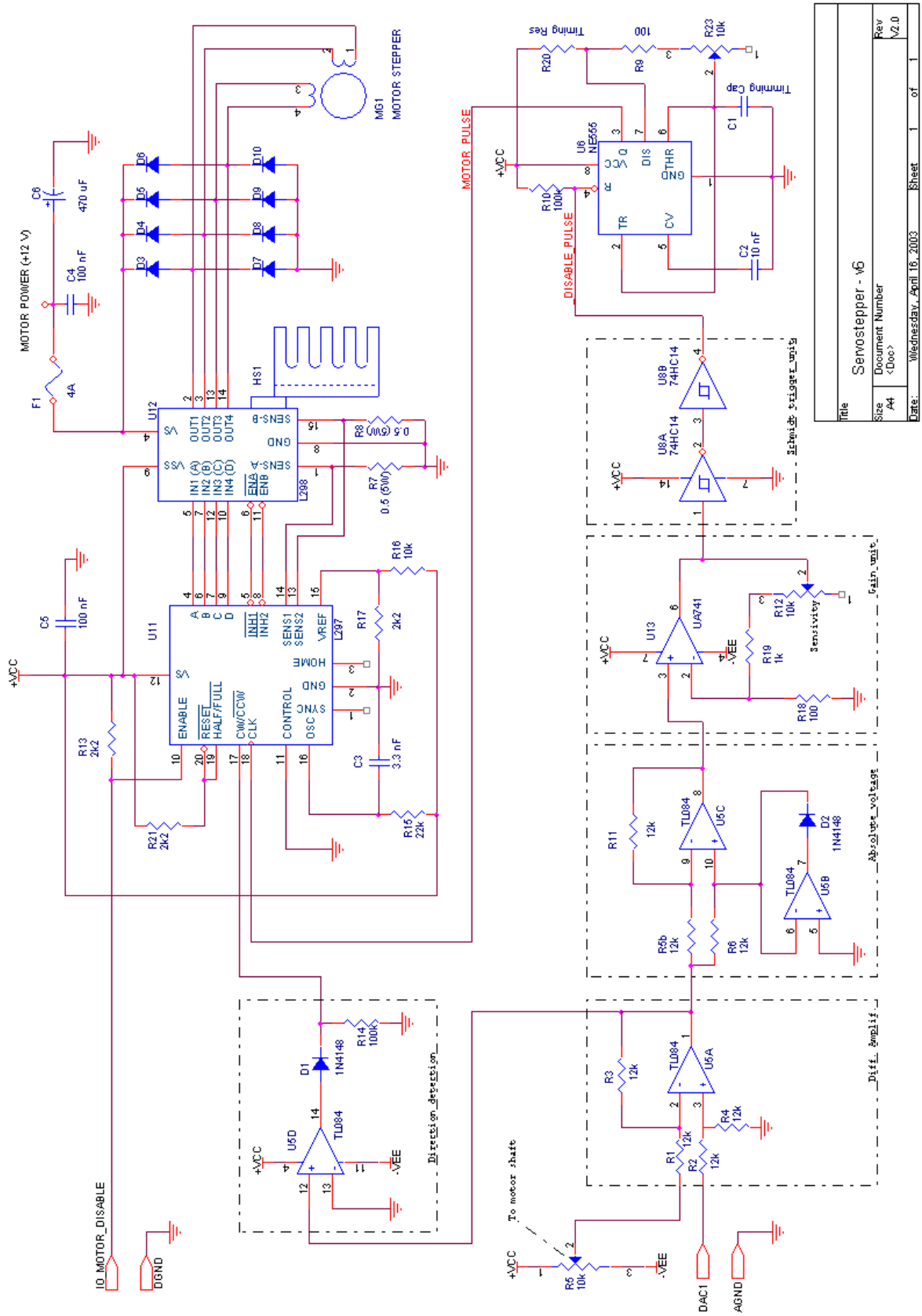
J. Borenstein, H. R. Everett and Liqiang Feng – *Navigating Mobile Robots: Systems and Techniques*, AK Peters, 1996.

- [1] <http://robotica2003.ist.utl.pt/>
- [2] <http://www.howstuffworks.com>
- [3] <http://auto.howstuffworks.com/differential2.htm>
- [4] <http://www.amidata.es/>
- [5] <http://www.doctrionics.co.uk/555.htm>
- [6] <http://www.rs-components.com/>
- [7] <http://www.maxonmotor.com/>
- [8] <http://www.mec.ua.pt/activities/disciplinas/RoboticaAutonomaMoveI>

ANEXOS

Anexo 1

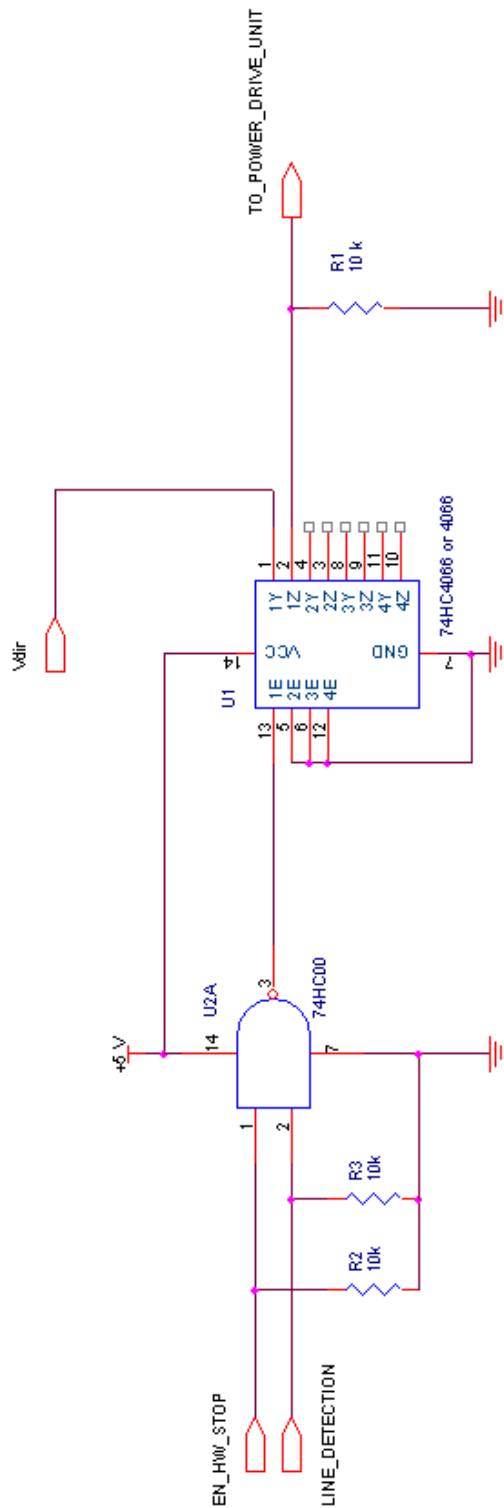
Esquema eléctrico do servostepper



Title		Servostepper - v6	
Size	Document Number	Rev	
A4	<Doc>	V2.0	
Date:	Wednesday, April 16, 2003	Sheet	1 of 1

Anexo 2

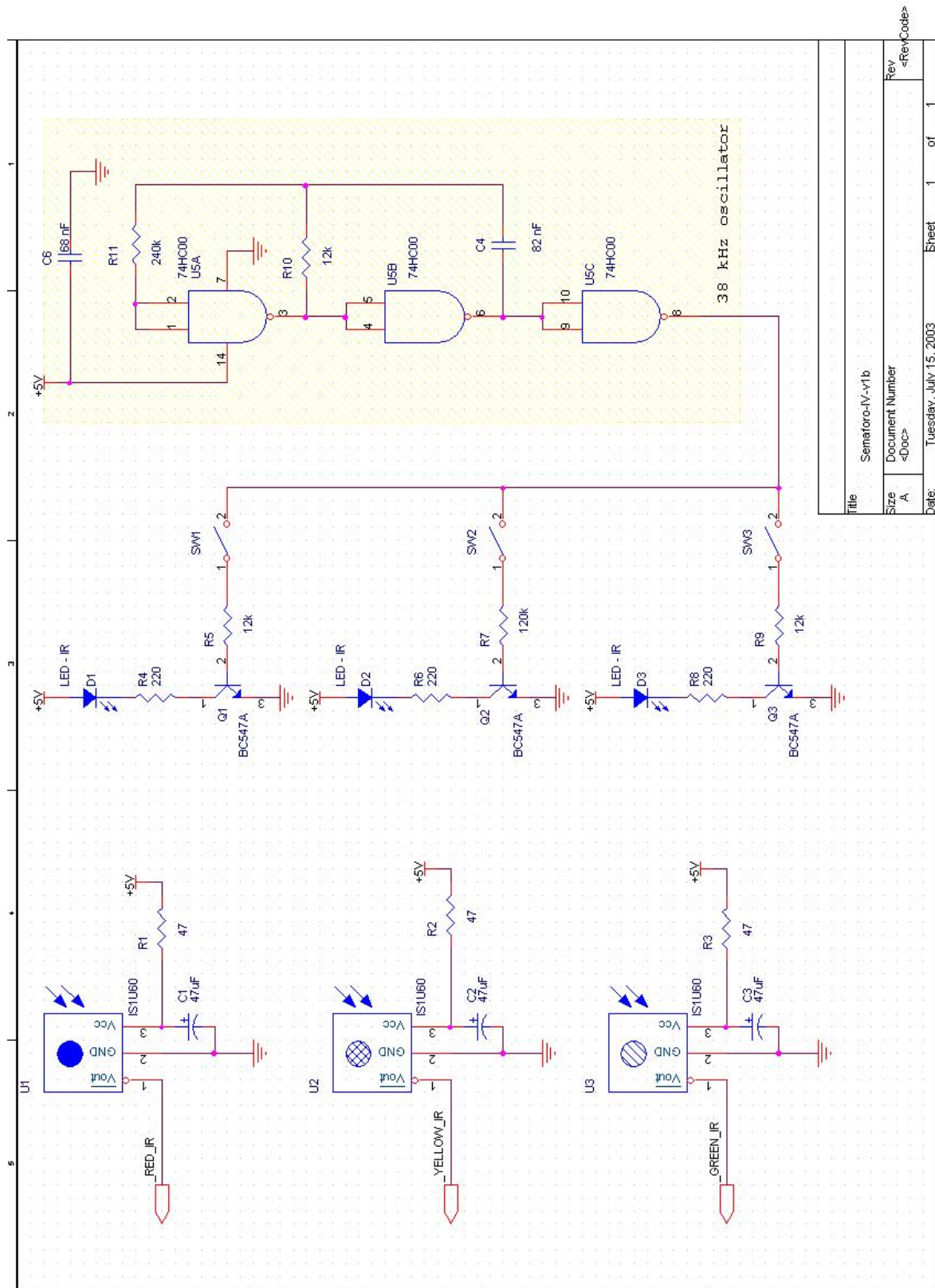
Esquema eléctrico do stop por hardware



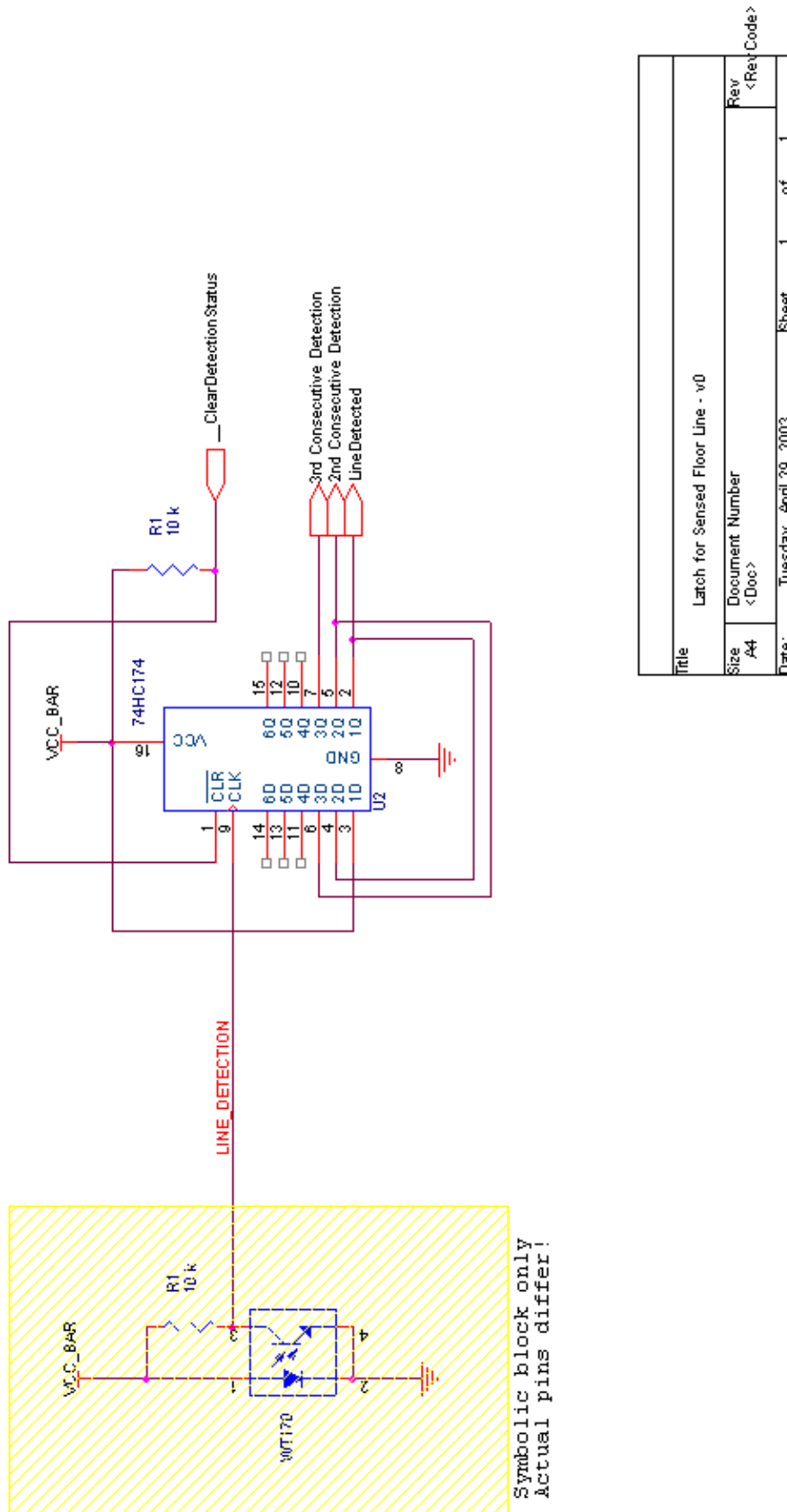
Title		Hardware Robot Stopper - v0	
Size	A4	Document Number	<Doc>
Date:	Monday, May 05, 2003	Sheet	1 of 1
		Rev	<RevCode>

Anexo 3

Esquema eléctrico dos sensores dos semáforos

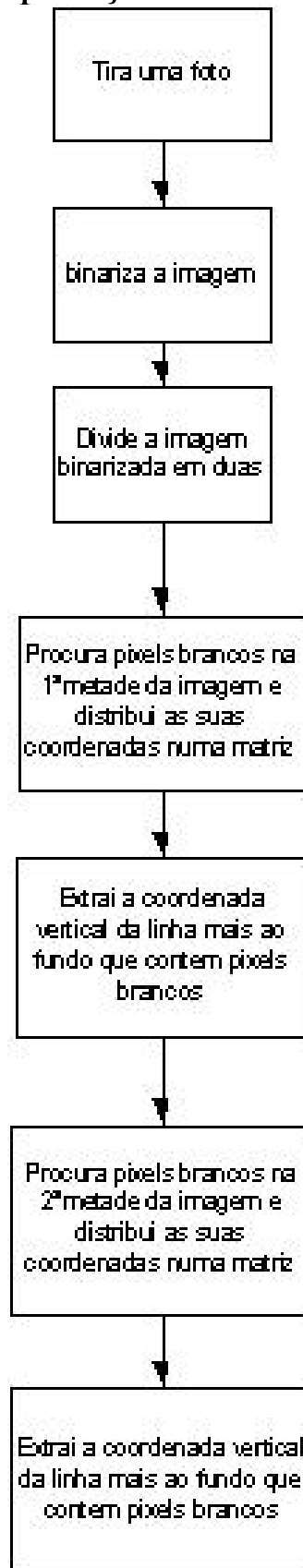


Anexo 4 Esquema eléctrico do Flip-Flop



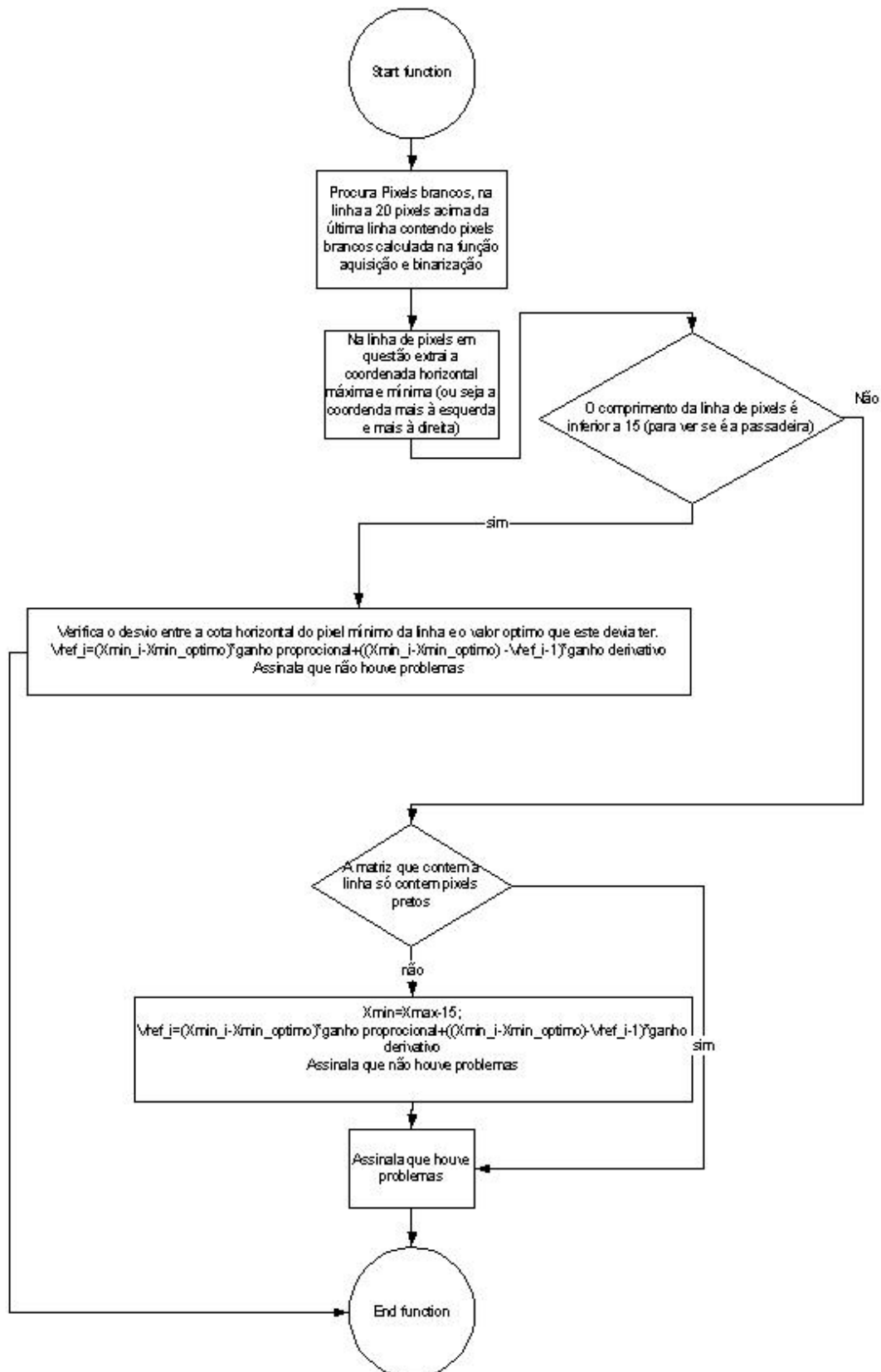
Anexo 5

Fluxograma de aquisição e binarização da imagem



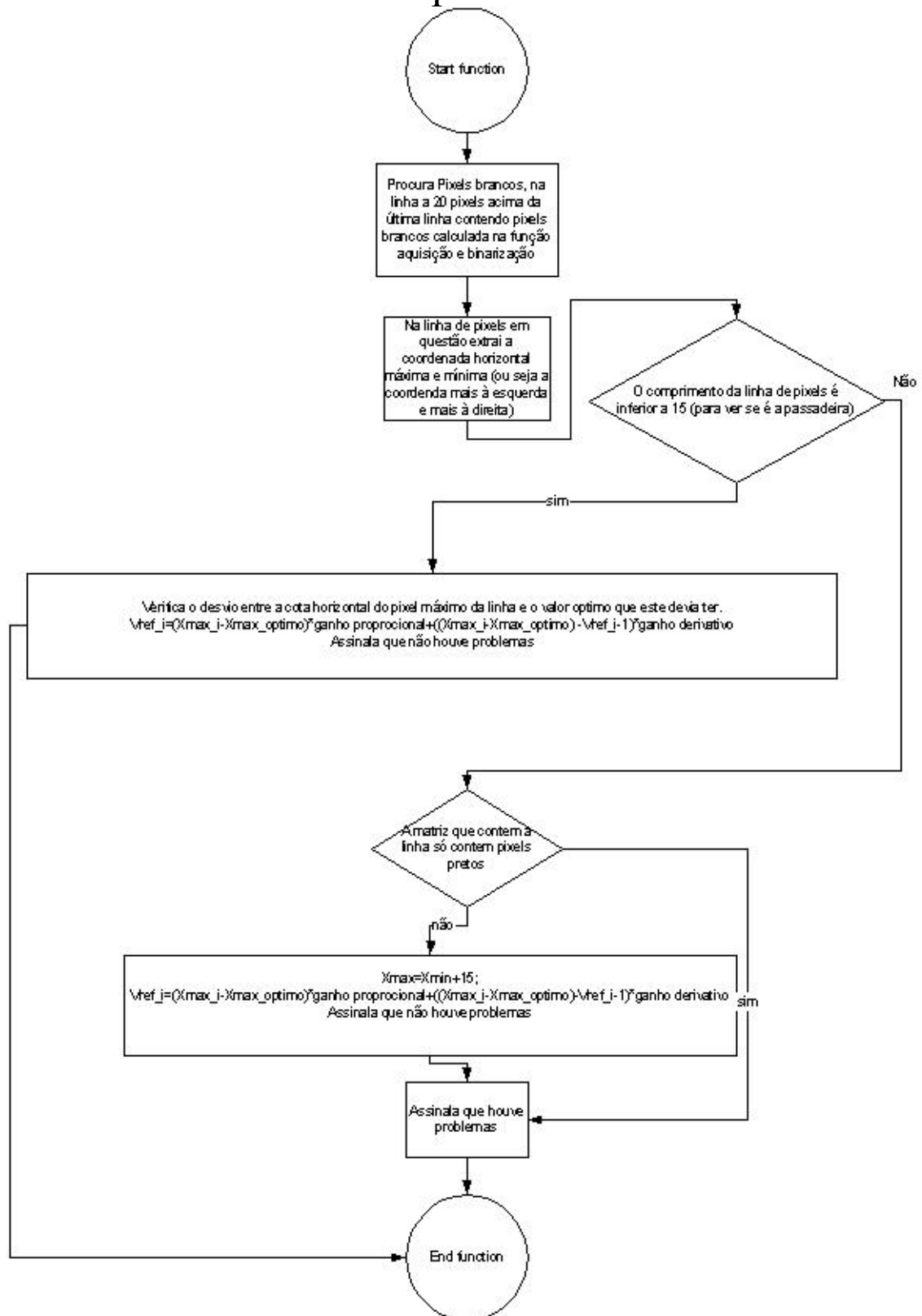
Anexo 6

Fluxograma de calculo da trajectória seguindo a linha da direita

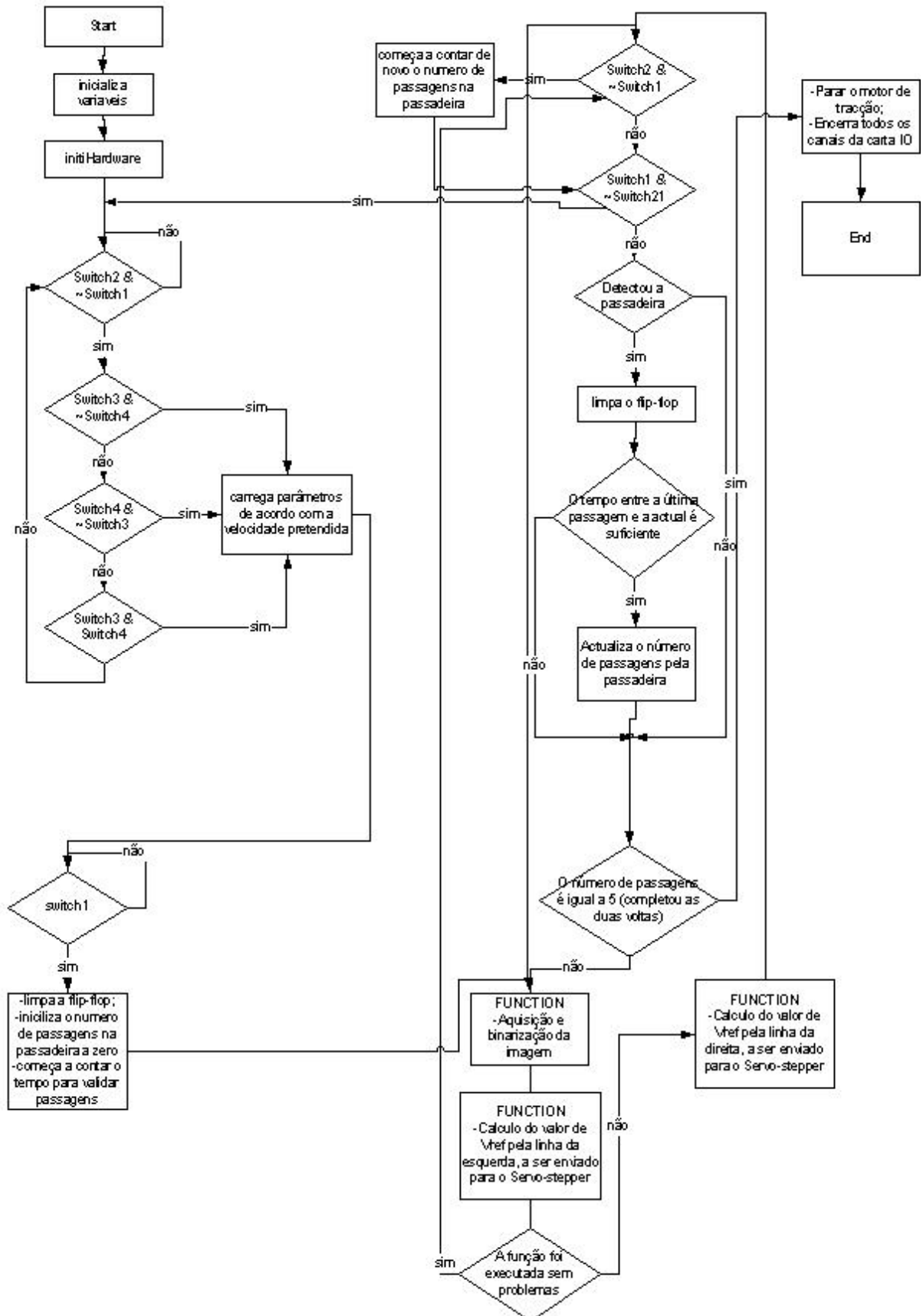


Anexo 7

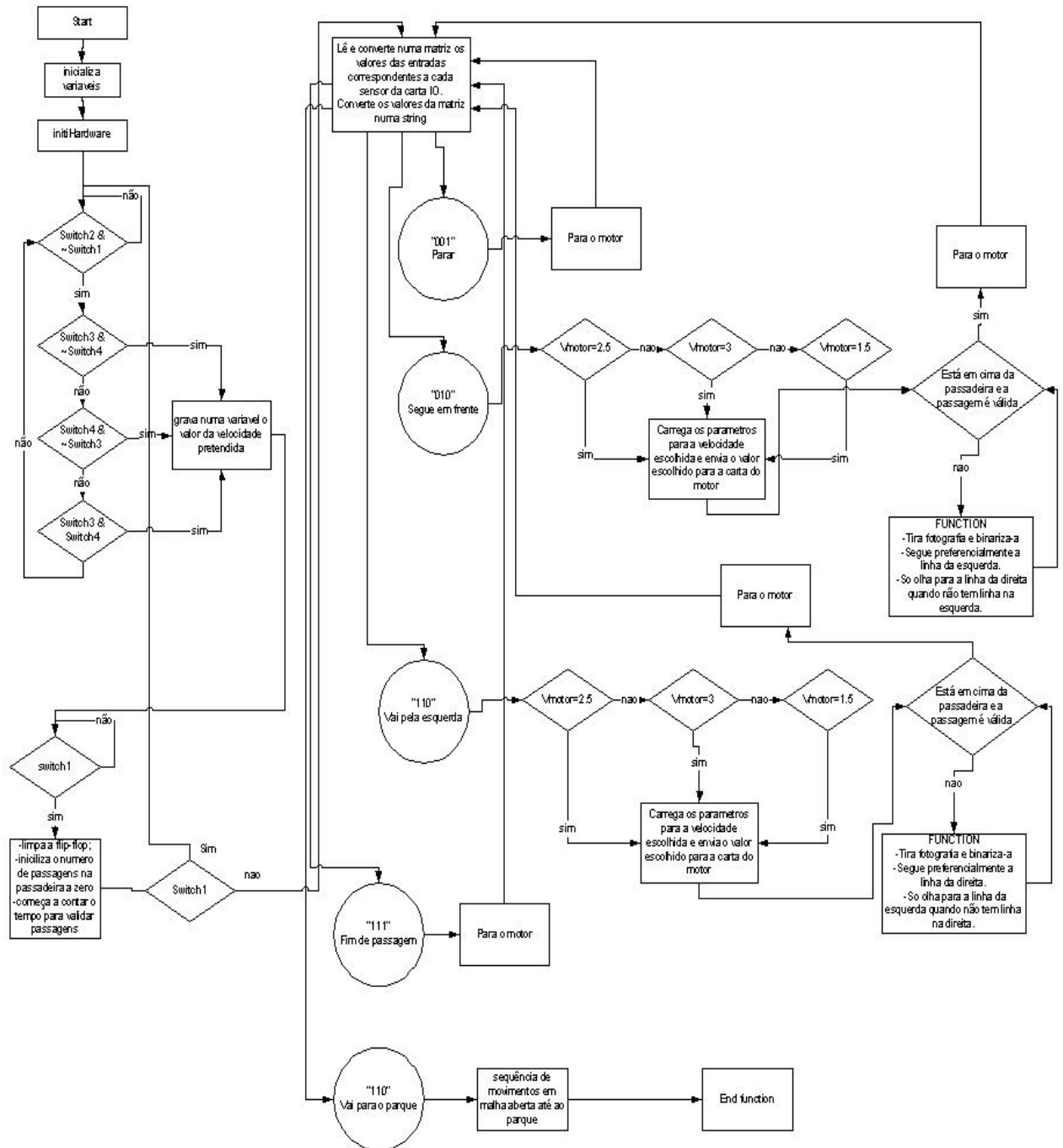
Fluxograma de calculo da trajectória seguindo a linha da esquerda



Anexo 8 Fluxograma do programa da 1ª manga

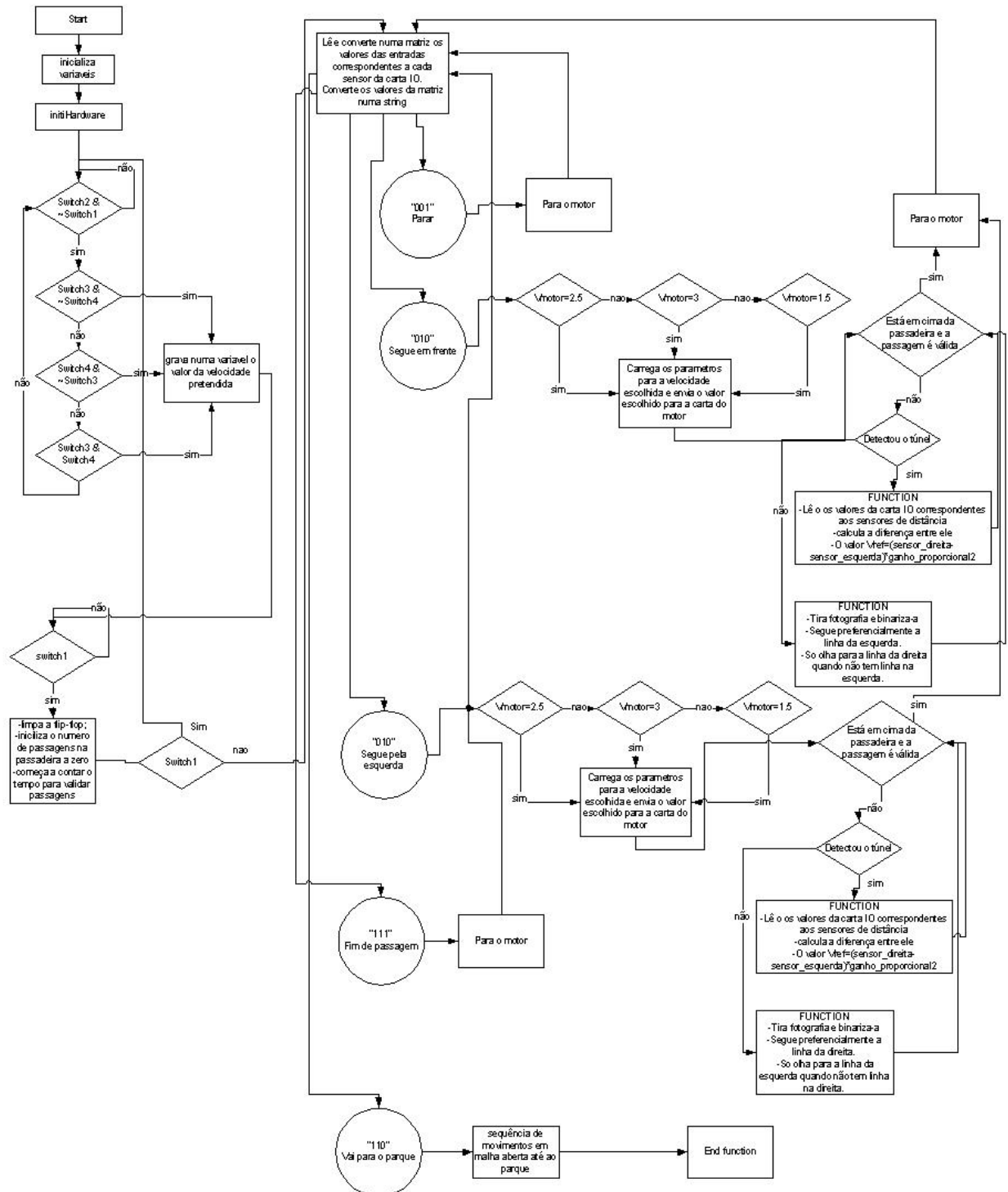


Anexo 9 Fluxograma do programa da 2ª manga



Anexo 10

Fluxograma do programa da 3ª manga



Anexo 11

Fluxograma da nova abordagem de navegação

