



**Bruno Miguel
Santos Andrade**

**Reconfiguração do robô ATLAS para
Implementação de Unidade Anti-colisão**



**Bruno Miguel
Santos Andrade**

**Reconfiguração do robô ATLAS para
Implementação de Unidade Anti-colisão**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Vítor Manuel Ferreira dos Santos, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Robertt Angelo Fontes Valente
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Carlos Carneira
Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico de Lisboa

Professor Doutor Vítor Manuel Ferreira dos Santos
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me apoiaram, directa ou indirectamente, na realização deste trabalho:

Ao professor Dr. Vítor Santos pela orientação, disponibilidade e motivação que me transmitiu.

A toda a equipa ATLAS pela partilha de experiências e conhecimentos, em especial a um amigo de longa data, Jorge Almeida e aos restantes membros, Miguel Oliveira, Procópio Stein, David Gameiro, Ricardo Pascoal, Emanuel Ávila, Rémi Sabino e Rui Martins.

Aos restantes colegas de laboratório, Eduardo Durana, Luís Rodrigues, Luís Pereira e Hugo Tavares, pelo companheirismo e entreaajuda e ao Eng.º António Festas pelo fabrico de peças.

À minha Mãe, Pai e Irmão.

Palavras-chave

Sensores de ultra-sons, sistema de anti-colisão, assistência à navegação, arquitectura modular.

Resumo

O robô ATLAS em causa corresponde ao modelo adoptado em 2005 para a condução autónoma pelo Laboratório de Automação e Robótica (LAR) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade de Aveiro (UA). Algumas das soluções originais apresentam limitações a nível de hardware e software.

O objectivo deste trabalho é desenvolver um sistema de anti-colisão de baixo nível e um sistema de auxílio à navegação de alto nível. Para facilitar a implementação de novo hardware que permitisse a ligação de sensores de distância, foi efectuada uma reconfiguração a nível da electrónica. Estes novos sensores foram utilizados no desenvolvimento de ambos os sistemas de segurança.

O sistema de anti-colisão de baixo nível evita que o robô colida com obstáculos, intervindo directamente no controlo do motor de tracção e indirectamente no travão. O sistema de auxílio à navegação de alto nível auxilia o utilizador quando o robô estiver em modo de controlo manual e intervém na direcção, prevendo e evitando colisões.

O desenvolvimento do novo hardware foi concluído e validado, permitindo a implementação dos sistemas de segurança. Tendo em conta os testes efectuados, pode-se concluir que o sistema de anti-colisão de baixo nível possui um desempenho muito bom e cumpre os requisitos especificados. No auxílio à condução, conclui-se que o sistema funciona e permite desviar o robô, evitando obstáculos e possíveis colisões. Observou-se também que estes sistemas, quando activos em simultâneo, se complementam. Primeiro actua o sistema de auxílio à navegação que tenta evitar os obstáculos desviando-se, e quando isto não é possível, actua o sistema de anti-colisão que evita o choque com o obstáculo forçando a paragem do robô.

Keywords

Ultrasonic sensors, anti-collision system, assisted navigation, modular architecture.

Abstract

The ATLAS robot in question is the adopted model in 2005 for autonomous driving by the Laboratory of Automation and Robotics in the Department of Mechanical Engineering at Aveiro University. Some of the original solutions have limitations both in hardware and software.

The main goal of this work is to develop a low level anti-collision system and a high level assisted navigation system. To aid the implementation of new hardware to connect distance sensors a reconfiguration of the electronic components of the robot was made. The new distance sensors were used in the development of the security systems.

The low level anti-collision system interacts directly with the traction motor control and indirectly with the brakes in order to prevent the robot from colliding with obstacles. The high level assisted navigation system assists the user when the robot is in manual control, interfering with the direction, anticipating and avoiding collisions.

The new hardware was completed and validated, allowing the development of the security systems. Taking into account the results of the tests conducted, we can conclude that the behaviour of the low level anti-collision system is very good and it matches the requirements imposed. About the assisted navigation system, we can conclude that it works and allows the robot to avoid obstacles and possible collisions. We can also observe that this two systems, when both active, complement each other. First the assisted navigation system tries to avoid the obstacle by changing the direction of the robot and if this is not possible, then, the anti-collision system will avoid the crash forcing the robot to stop.

Conteúdo

1	Introdução.....	1
1.1	Objectivos.....	1
1.2	História/Contextualização.....	1
1.3	ATLAS 2010.....	5
1.3.1	Mecânica.....	6
1.3.2	Electrónica e controlo.....	8
1.3.3	Software.....	13
1.4	ATLAS MV.....	14
1.5	Sistemas de segurança.....	15
1.5.1	Robôs.....	16
1.5.2	Automóveis.....	18
1.5.3	Aviões.....	20
2	Reconfiguração do ATLAS 2010.....	21
2.1	Substituição das Placas.....	21
2.2	Soldadura.....	22
2.3	Novas Placas.....	23
2.3.1	Placa Mãe.....	23
2.3.2	Placa de Distribuição de Potência.....	24
2.3.3	Placa de ligação dos sensores.....	24
2.3.4	Placa de ligação das luzes.....	25
2.3.5	Placa dos Relés.....	25
2.3.6	Placa de Controlo dos sensores e das luzes.....	26
2.3.7	Placa de Controlo dos motores e do travão.....	27
2.4	Programação dos microcontroladores.....	28
2.4.1	Placa de controlo dos sensores e das luzes.....	28
2.4.2	Placa de controlo dos motores e do travão.....	29
2.5	Testes em bancada.....	30
2.6	Remoção das placas antigas e colocação das novas.....	30
2.7	Suporte das novas placas.....	32
2.8	Substituição das Rodas.....	33
2.9	Testes e resultados em condução.....	35
3	Novo Hardware.....	37

3.1	Escolha dos Sensores	37
3.1.1	Modelo	38
3.1.2	Características	38
3.2	Testes em placa branca	39
3.3	Modo de funcionamento em Série	40
3.4	Placa de ligação e controlo dos Sensores de Ultra-sons	41
3.5	Programação do microcontrolador	44
3.6	Dados Adquiridos	46
3.7	Posicionamento dos sensores no robô	47
4	Sistemas de segurança desenvolvidos.....	53
4.1	Sistema De Emergência Anti-colisão	53
4.1.1	Programação dos microcontroladores.....	56
4.1.2	Testes e Resultados	57
4.2	Sistema de auxílio à navegação.....	59
4.2.1	ULTRASONIC	60
4.2.2	RCUD	61
4.2.3	UAN	62
4.3	Testes e Resultados	66
5	Conclusões	69
5.1	Conclusões.....	69
5.2	Trabalho futuro	71
6	Referências.....	73
7	ANEXOS.....	75
	Anexo A.....	75
A.1	Placa de distribuição de Potência	75
A.2	Placa de ligação dos sensores	77
A.3	Placa de ligação das luzes.....	78
A.4	Placa dos Relés	78
A.5	Placa de controlo dos sensores e das luzes.....	80
A.6	Placa de Controlo dos motores e do travão.....	82
	Anexo B.....	85

Lista de figuras

FIGURA 1.1: REPRESENTAÇÃO DO CIRCUITO PARA CONDUÇÃO AUTÓNOMA, FESTIVAL NACIONAL DE ROBÓTICA DE 2009 [1].	2
FIGURA 1.2: (A) ATLAS II; (B) SISTEMA DE DIRECÇÃO DO ATLAS [2].	3
FIGURA 1.3: SENSORES DE INFRAVERMELHO DO ATLAS [3].	4
FIGURA 1.4: COMPUTADOR ATX COLOCADO NA PLATAFORMA SUPERIOR DO ATLAS.	4
FIGURA 1.5: ATLAS III TAL COMO PARTICIPOU NO FESTIVAL NACIONAL DE ROBÓTICA DE 2005.	5
FIGURA 1.6: ATLAS 2010.	6
FIGURA 1.7: CHASSIS DO ATLAS 2010, COM AS DIMENSÕES REPRESENTADAS.	7
FIGURA 1.8: RAIOS DE CURVATURA NAS DIFERENTES RODAS. [5]	7
FIGURA 1.9: EXEMPLO DE UM SISTEMA DE PINHÃO – CREMALHEIRA.	7
FIGURA 1.10: SISTEMA DE TRAVAGEM DO ATLAS 2010. (A) VEIO METÁLICO; (B) SOLENÓIDE COM O VEIO INSERIDO.	8
FIGURA 1.11: ESQUEMA DAS LIGAÇÕES AO COMPUTADOR CENTRAL.	9
FIGURA 1.12: ESQUEMA DAS LIGAÇÕES DA PLACA DE CONTROLO 1.	9
FIGURA 1.13: ESQUEMA DAS LIGAÇÕES DA PLACA DE CONTROLO 2.	10
FIGURA 1.14: ESQUEMA DA ALIMENTAÇÃO ELÉCTRICA DO SISTEMA.	11
FIGURA 1.15: PLACA DE DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO DO ATLAS 2010.	11
FIGURA 1.16: PLACAS ELECTRÓNICAS E CABOS INSTALADOS NO ATLAS 2010.	12
FIGURA 1.17: EXEMPLOS DOS TIPOS DE PLACAS INSTALADAS NO ATLAS 2010.	13
FIGURA 1.18: ATLAS MV.	15
FIGURA 1.19: ROBÔ ASPIRADOR SV8855 DA SAMSUNG.	16
FIGURA 1.20: MODO DE DESVIO DOS OBSTÁCULOS DO ROBÔ BR23C. [10]	17
FIGURA 1.21: ROBÔ EPORO DA NISSAN. [11]	17
FIGURA 1.22: REGRAS COMPORTAMENTAIS DOS PEIXES APLICADAS NO CONTROLO DO EPORO. [11]	18
FIGURA 2.1: CÓPIAS DAS PLACAS DO ATLAS MV DESPROVIDAS DE COMPONENTES.	21
FIGURA 2.2: ARQUITECTURA DAS NOVAS PLACAS A INSTALAR NO ATLAS 2010.	22
FIGURA 2.3: ESTAÇÃO DE SOLDADURA DO LAR.	22
FIGURA 2.4: PLACA MÃE.	23
FIGURA 2.5: VISTA DE CIMA DA PLACA DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA.	24
FIGURA 2.6: VISTA DE CIMA DA PLACA DE LIGAÇÃO DOS SENSORES.	24
FIGURA 2.7: PLACA DE LIGAÇÃO DAS LUZES. (A) VISTA DE CIMA; (B) VISTA DE BAIXO.	25
FIGURA 2.8: VISTA DE CIMA DA PLACA DOS RELÉS.	26
FIGURA 2.9: PLACA DE CONTROLO DOS SENSORES E DAS LUZES.	26
FIGURA 2.10: PLACA DE CONTROLO DOS MOTORES E DO TRAVÃO.	27
FIGURA 2.11: CARTA <i>MAXON</i> DE CONTROLO DO MOTOR.	27
FIGURA 2.12: MENSAGENS ACEITES PELO MICROCONTROLADOR DA PLACA DE CONTROLO DOS SENSORES E DAS LUZES.	28
FIGURA 2.13: MENSAGENS ACEITES PELO MICROCONTROLADOR DA PLACA DE CONTROLO DOS MOTORES E DO TRAVÃO.	30
FIGURA 2.14: ATLAS 2010 SEM PLACAS ELECTRÓNICAS INSTALADAS.	31

FIGURA 2.15: PLACAS ELECTRÓNICAS REMOVIDAS DO ATLAS 2010.	31
FIGURA 2.16: COMPONENTES RETIRADOS DO ATLAS 2010. (A) CABOS E BRAÇADEIRAS; (B) CHAPAS E PARAFUSOS.	32
FIGURA 2.17: (A) SUPORTE DE ALUMÍNIO PARA ELEVÇÃO DA CAIXA DE SUPORTE DAS PLACAS; (B) CAIXA EM ACRÍLICO PARA SUPORTE E PROTECCÃO DAS PLACAS.	33
FIGURA 2.18: RODAS DO ATLAS, DA FRENTE COM JANTES PRETAS E DE TRÁS COM JANTES VERMELHAS.	34
FIGURA 2.19: SISTEMA DE ENCAIXE DAS RODAS.	34
FIGURA 2.20: ATLAS 2010 APÓS A REESTRUTURAÇÃO APLICADA.	35
FIGURA 3.1: SENSOR DE ULTRA-SONS LV-MaxSONAR-EZO DA MaxBOTIX. [17].....	38
FIGURA 3.2: MICROCONTROLADOR 18F258 DA MICROCHIP.....	39
FIGURA 3.3: LIGAÇÃO ENTRE SENSORES PARA FUNCIONAMENTO EM SÉRIE. [17]	40
FIGURA 3.4: ESQUEMA ELÉCTRICO DA PLACA DE LIGAÇÃO E CONTROLO DOS SENSORES DE ULTRA-SONS.	42
FIGURA 3.5: PCB DA PLACA DE LIGAÇÃO E CONTROLO DOS SENSORES DE ULTRA-SONS.	42
FIGURA 3.6: PLACA EM CIRCUITO IMPRESSO DE LIGAÇÃO E CONTROLO DOS SENSORES ULTRA-SONS.	43
FIGURA 3.7: CABO PARA LIGAÇÃO DOS SENSORES DE ULTRA-SONS À PLACA DE CONTROLO.	44
FIGURA 3.8: PROTOCOLO DE ENVIO DE MENSAGENS DA PLACA DE ULTRA-SONS.	45
FIGURA 3.9: MENSAGENS ACEITES PELO MICROCONTROLADOR DOS ULTRA-SONS.....	46
FIGURA 3.10: MEDIÇÕES DOS 3 SENSORES PARA UM OBSTÁCULO A 74 CM DE DISTÂNCIA.	46
FIGURA 3.11: MEDIÇÕES DOS 3 SENSORES PARA UM OBSTÁCULO EM MOVIMENTO ENTRE 3 POSIÇÕES.	47
FIGURA 3.12: POSICIONAMENTO DOS SENSORES DE ULTRA-SONS NO ROBÔ.	48
FIGURA 3.13: ESTRUTURA E SUPORTES PARA FIXAÇÃO DAS CÂMARAS. [18].....	48
FIGURA 3.14: PEÇAS MAQUINADAS PARA OS SUPORTES DOS SENSORES DE ULTRA-SONS.	49
FIGURA 3.15: ALTERAÇÃO NA CAIXA DE SUPORTE DAS PLACAS PARA COLOCAÇÃO DOS SUPORTES DOS SENSORES DE ULTRA-SONS.	50
FIGURA 3.16: TESTES EFECTUADOS PARA VALIDAR O POSICIONAMENTO DOS SENSORES. (A) BARRA VERTICAL; (B) BARRA NA HORIZONTAL.	50
FIGURA 3.17: MEDIÇÕES DOS 3 SENSORES FRONTAIS AO DESLOCAR UMA BARRA DE 2,5 CM DE ESPESSURA A 15 CM DE DISTÂNCIA DO ROBÔ.	51
FIGURA 3.18: MEDIDAS DOS 3 SENSORES FRONTAIS COM UMA BARRA DE 2,5 CM DE ALTURA COLOCADA NO PAVIMENTO. ...	51
FIGURA 4.1: COMUNICAÇÃO UNIDIRECCIONAL ENTRE A PLACA DOS ULTRA-SONS E A PLACA DOS MOTORES.	54
FIGURA 4.2: EMERGÊNCIAS EXISTENTES, DESCRIÇÃO E CODIFICAÇÃO ELÉCTRICA.	54
FIGURA 4.3: REPRESENTAÇÃO DAS ZONAS DE EMERGÊNCIA PARA CADA UM DOS SENSORES FRONTAIS.	55
FIGURA 4.4: CONDIÇÕES DE ACTIVAÇÃO DAS EMERGÊNCIAS NOS SENSORES FRONTAIS E RESTRIÇÕES APLICADAS EM CADA UMA.	55
FIGURA 4.5: DISTÂNCIAS DE ACTIVAÇÃO DA EMERGÊNCIA DE TIPO 2, QUE IMOBILIZA O ROBÔ.....	56
FIGURA 4.6: RESULTADOS DOS TESTES DE ANTI-COLISÃO.	58
FIGURA 4.7: FLUXO DE MENSAGENS ENTRE OS DIVERSOS MÓDULOS UTILIZADOS NA CONDUÇÃO MANUAL E NO SISTEMA DE AUXÍLIO A NAVEGAÇÃO.	60
FIGURA 4.8: GRÁFICOS DE DISTÂNCIA, SEM TRATAMENTO E COM FILTRO DE MÉDIA DE 10 ELEMENTOS.	61

FIGURA 4.9: MENSAGEM PUBLICADA PELO MÓDULO ULTRASONIC, COM INFORMAÇÕES SOBRE OS SENSORES DE ULTRA-SONS.	61
FIGURA 4.10: MENSAGEM PUBLICADA PELO MÓDULO RCUD, COM INFORMAÇÕES SOBRE A OCUPAÇÃO DO ESPAÇO.	62
FIGURA 4.11: REPRESENTAÇÃO DOS CAMPOS DA MENSAGEM PUBLICADA PELO MÓDULO RCUD.	62
FIGURA 4.12: MENSAGEM DE CONTROLO ENVIADA DO MÓDULO UAN E GAMEPAD PARA O BASE.	63
FIGURA 4.13: ORGANIZAÇÃO DAS MENSAGENS RECEBIDAS PELO MODULO BASE, UTILIZANDO UMA LÓGICA FIFO CONDICIONADA.	63
FIGURA 4.14: VARIAÇÃO DA DIRECÇÃO COM A DISTÂNCIA PARA CADA 1 DOS 3 SENSORES FRONTAIS PARA UMA VELOCIDADE DE 60.	65
FIGURA 4.15. REGRAS HEURÍSTICAS APLICADAS NA ESCOLHA DA DIRECÇÃO FINAL A ADOPTAR PARA O ROBÔ.	66
FIGURA 4.16: SITUAÇÕES CONTEMPLADAS NOS ENSAIOS REALIZADOS.	67
FIGURA A1: VISTA DE BAIXO DA PLACA DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA COM CORRECÇÃO DE LIGAÇÕES.	76
FIGURA A2: ESQUEMA ELÉCTRICO DA PLACA DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA.	76
FIGURA A3: CIRCUITO ELÉCTRICO DA PLACA DE LIGAÇÃO DOS SENSORES.	77
FIGURA A4: VISTA DE BAIXO DA PLACA DE LIGAÇÃO DOS SENSORES.	78
FIGURA A5: CIRCUITO ELÉCTRICO DA PLACA DE LIGAÇÃO DAS LUZES.	78
FIGURA A6: ESQUEMA ELÉCTRICO DA PLACA DOS RELÉS.	79
FIGURA A7: VISTA DE BAIXO DA PLACA DOS RELÉS COM AS ALTERAÇÕES EFECTUADAS.	80
FIGURA A8: ESQUEMA ELÉCTRICO DA PLACA DE CONTROLO DOS SENSORES E DAS LUZES.	81
FIGURA A9: VISTA DE BAIXO DA PLACA DE CONTROLO DOS SENSORES E DAS LUZES.	81
FIGURA A10: ESQUEMA ELÉCTRICO DA PLACA DE CONTROLO DOS MOTORES E DO TRAVÃO	83
FIGURA A11: PLACA DE CONTROLO DOS MOTORES E DO TRAVÃO.	84
FIGURA B1: DESENHO DE DEFINIÇÃO DA BASE.	85
FIGURA B2. DESENHO DE DEFINIÇÃO DA FACE DA FRENTE.	85
FIGURA B3: DESENHO DE DEFINIÇÃO DA FACE DE TRÁS.	86
FIGURA B 4. DESENHO DE DEFINIÇÃO DA FACE LATERAL ESQUERDA.	86

1 Introdução

O robô ATLAS é um robô para condução autónoma, desenvolvido para provas de competição, que faz parte de um projecto com o mesmo nome iniciado em 2002 no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) do departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade de Aveiro (UA). Várias vezes premiado com o primeiro e segundo prémio no Festival Nacional de Robótica é também o robô mais rápido na história desta competição até à data.

1.1 Objectivos

O principal objectivo deste trabalho é dotar o robô ATLAS de um sistema de emergência de baixo nível que o imobilize quando não tiver espaço à sua frente para se movimentar, mesmo que esteja a receber ordens contrárias. Para além disso, este trabalho pressupõe também o desenvolvimento de um sistema de auxílio à navegação, que irá intervir na direcção quando o robô estiver numa possível rota de colisão.

Para a realização destes objectivos foram realizadas diversas tarefas de modo a facilitar a implementação destes novos sistemas e tornar o robô mais expansível. Foi assim necessário fazer uma reestruturação geral do robô a nível da electrónica e um estudo sobre a possibilidade de melhoramentos na mecânica. Foi também desenvolvido novo hardware específico para integrar novos sensores de distância que serão usados nos sistemas de segurança já mencionados.

1.2 História/Contextualização

O projecto ATLAS nasceu em 2002, com o objectivo de construir um robô para participar na prova de Condução Autónoma do Festival Nacional de Robótica. Este festival engloba várias actividades que decorrem durante 3 a 4 dias, incluindo um encontro científico, competições, conferências de imprensa entre outras actividades. Tem vindo a promover a robótica e a levá-la ao público geral ao mesmo tempo que funciona como impulsionador desta área a nível da

investigação. De entre as competições que organiza destacam-se o Futebol Robótico, Condução Autónoma, “Busca e Salvamento” e Dança [1].

A prova de Condução Autónoma existe desde a criação do Festival, em 2001, e tem vindo a sofrer alterações ao longo dos anos. Acompanhando o desenvolvimento da robótica, tem-se tornado cada vez mais desafiante e exigente. No entanto, o seu objectivo primordial permanece o mesmo. Um robô deve efectuar duas voltas, de modo autónomo, a um circuito em forma de oito, Figura 1.1, no menor tempo possível e sem ultrapassar as linhas que delimitam a pista.

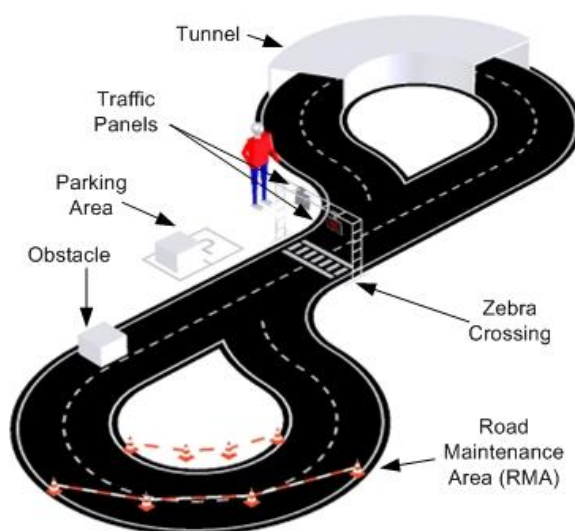


Figura 1.1: Representação do circuito para condução autónoma, Festival Nacional de Robótica de 2009 [1].

A prova está dividida em três fases ou mangas, que se desenrolam ao longo de três dias. O grau de dificuldade vai aumentando à medida que são introduzidos mais desafios na pista. Na primeira manga apenas se espera que o robô percorra a pista o mais rápido possível, parando apenas na passadeira ao fim de efectuadas as duas voltas. Na manga dois, o robô já vai ter que identificar e obedecer aos semáforos, desviar-se de obstáculos que vão estar na pista em posições aleatórias e estacionar na área destinada para o efeito, que se encontrará livre. A manga três é a mais complexa, e para além das dificuldades anteriores o robô terá ainda que navegar dentro de um túnel e numa zona de obras, que o pode obrigar a violar as linhas que delimitam a pista. Tem ainda que estacionar no lugar da área de estacionamento que se encontrar livre, visto que um dos lugares do parque estará obstruído com um obstáculo, colocado em posição aleatória. O não cumprimento dos objectivos incorrerá em penalizações. O robô vencedor será aquele que conseguir obter menos penalizações e percorrer o trajecto no menor tempo.

Como foi dito anteriormente, as regras desta competição estão sempre a evoluir e são a cada ano que passa mais desafiantes. As que aqui foram apresentadas são as mais consolidadas e

servem para dar uma ideia de quais as dificuldades que os robôs nesta competição devem ultrapassar.

O primeiro robô desenvolvido no âmbito do projecto, em 2002-2003, foi baptizado de ATLAS e após ter sofrido alguns melhoramentos foi renomeado para ATLAS II, Figura 1.2 (a), no ano seguinte. Participou nas provas de 2003 e 2004, ficando em 4º e 3º lugar, respectivamente. Este robô de apenas três rodas tinha um chassis constituído por duas plataformas de madeira, fixas por suportes de aço soldado. A tracção era feita nas rodas de trás e tinham associado um diferencial mecânico, raramente visto nos robôs da altura. O motor eléctrico de tracção era um *Maxon RE40*, com uma potência de 150 Watts e a direcção estava a cargo de um motor passo a passo que actuava a roda da frente por intermédio de uma correia, Figura 1.2 (b) [2].

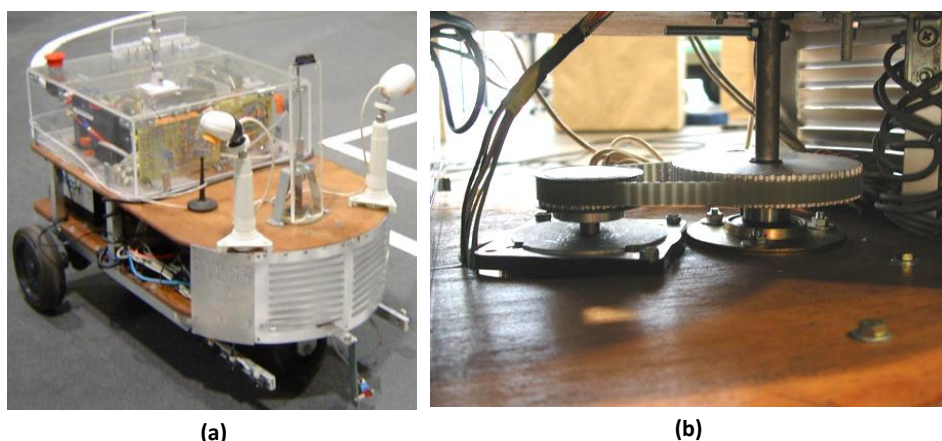
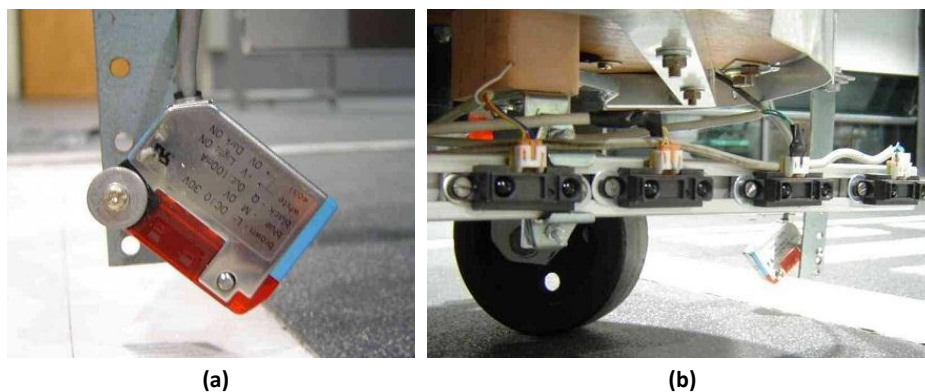


Figura 1.2: (a) ATLAS II; (b) Sistema de direcção do ATLAS [2].

A percepção do ambiente era efectuada recorrendo a uma *webcam* no ATLAS e a três no ATLAS II. A solução adoptada no ATLAS consistia em ter apenas uma câmara apontada para um espelho em v, para detectar ambas as linhas da pista. No ATLAS II foi adicionada mais uma câmara para detecção das linhas e a solução do espelho foi abandonada. Ficaram assim duas câmaras para a detecção das linhas da pista e uma para a detecção dos semáforos. Para além das câmaras possuía um sensor de infravermelho (*Sick WT170*) para detectar a passadeira, Figura 1.3 (a), e vários sensores de infravermelho (*Sharp GP2D12*) para detectar o túnel e os pinos na zona de obras, Figura 1.3 (b) [3].



**Figura 1.3: Sensores de infravermelho do ATLAS [3].
(a) Sick WT170; (b) Sharp GP2D12;**

O controlo estava a cargo de um computador de formato ATX, colocado na plataforma superior do robô, Figura 1.4. Esta solução, apesar de pouco prática, era das poucas possíveis na altura tendo em conta que os portáteis não estavam tão difundidos como actualmente. A edição de código no local da prova só era possível tendo disponível um monitor e um teclado.

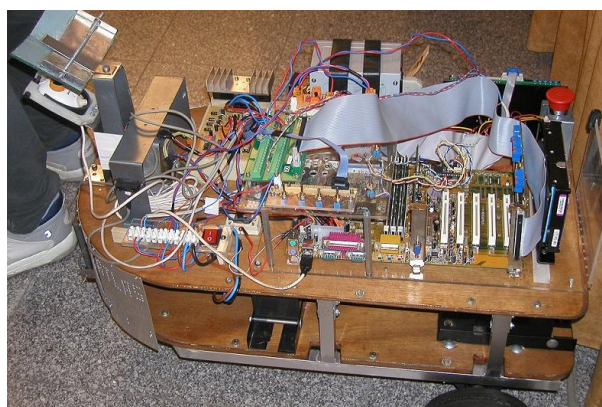


Figura 1.4: Computador ATX colocado na plataforma superior do ATLAS.

Tendo em conta as limitações do ATLAS II, em 2004 começou a ser desenvolvida uma nova plataforma. O ATLAS III veio trazer inúmeras vantagens em relação ao seu antecessor, e tinha como objectivo a participação no Festival Nacional de Robótica de 2005, no qual ficou classificado em 2º lugar. À data dessa competição o aspecto geral do robô pode ser visto na Figura 1.5.

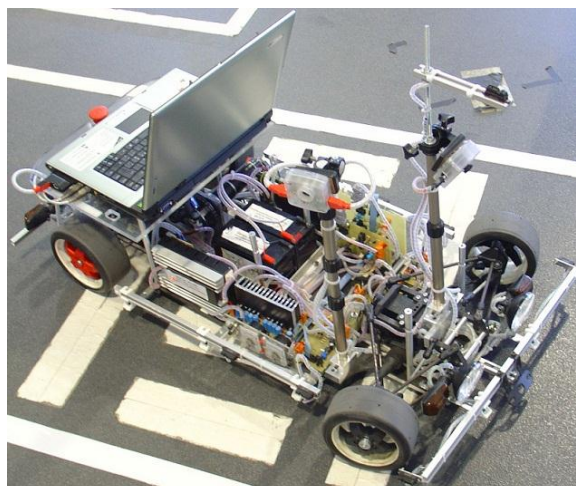


Figura 1.5: ATLAS III tal como participou no Festival Nacional de Robótica de 2005.

Desde então, este robô tem participado em todos os festivais de robótica até à data, tendo ficado classificado em 1º lugar, de 2006 a 2008, e em 2º lugar em 2009 e 2010, em detrimento do ATLAS MV, também desenvolvido no LAR. Todos os anos sofre alterações de modo a melhorar a sua performance e tem vindo a ser rebaptizado a cada participação no festival, tendo passado de ATLAS III para ATLAS IV e depois para ATLAS 2007. E assim sucessivamente até à sua designação actual de ATLAS 2010.

Para além do ATLAS 2010, actualmente o projecto ATLAS engloba mais um robô de condução autónoma (ATLAS MV) e um carro real (ATLAS CAR) que abrange projectos de navegação autónoma em estrada e o estudo de comportamentos do condutor [4].

1.3 ATLAS 2010

Tal como foi dito anteriormente, o robô ATLAS que aqui se apresenta e que foi objecto de estudo desta dissertação, é uma evolução do ATLAS III, e é actualmente designado por ATLAS 2010, Figura 1.6.

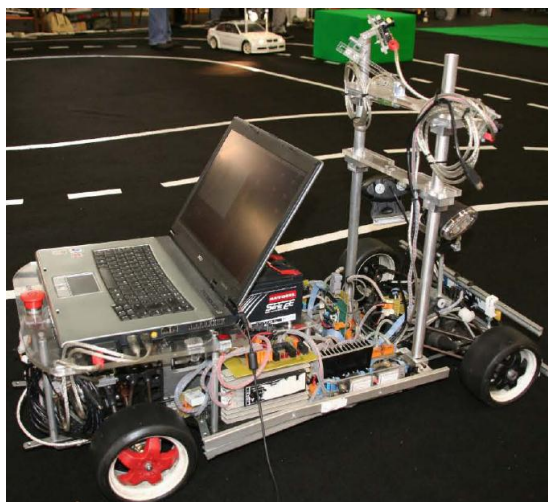


Figura 1.6: ATLAS 2010.

De seguida será feita uma análise dos componentes mecânicos e electrónicos presentes no robô e quais as soluções tecnológicas nele implementadas. Será também feita uma análise geral da arquitectura de software instalada no robô. Deste modo será possível ter uma melhor percepção das implicações que a reestruturação efectuada teve no robô.

1.3.1 Mecânica

Construído a partir de um chassis de um carro de rádio modelismo (RC), à escala 1:4, Figura 1.7, este robô apresenta um comportamento bastante semelhante a um veículo automóvel comum. Possui quatro rodas, ao contrário do seu antecessor (ATLAS II), o que lhe confere mais estabilidade e aderência. O chassis é em fibra de carbono reforçado com traves longitudinais e transversais de perfil de alumínio, o que torna a plataforma bastante robusta e capaz de suportar todos os elementos mecânicos e de controlo do robô.

No primeiro ano de existência o robô utilizou o motor de tracção do seu antecessor, um *Maxon RE40* de 150 Watts, no entanto, em 2006 sentiu-se a necessidade de um motor mais potente e este foi substituído por um *Maxon EC45* de 250 Watts.

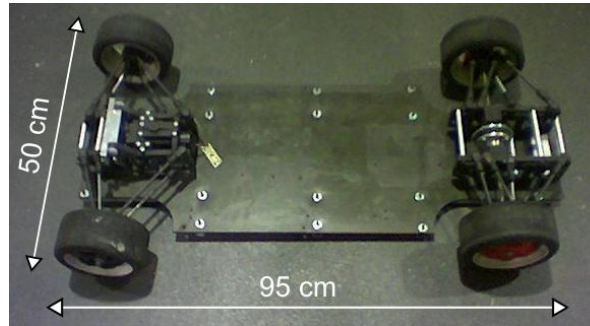


Figura 1.7: Chassis do ATLAS 2010, com as dimensões representadas.

A direcção, tal como nos veículos automóveis comuns, é do tipo *Ackermann*, ou seja, as rodas em curva descrevem circunferências diferentes, Figura 1.8, tendo a roda interior à curva que descrever uma circunferência de raio menor, de modo a que as duas rodas descrevam a mesma curva da pista. Se ambas as rodas tivessem o mesmo ângulo de viragem, implicaria que estariam a descrever curvas diferentes o que iria provocar o arrastamento de uma das rodas e o seu desgaste prematuro [5].

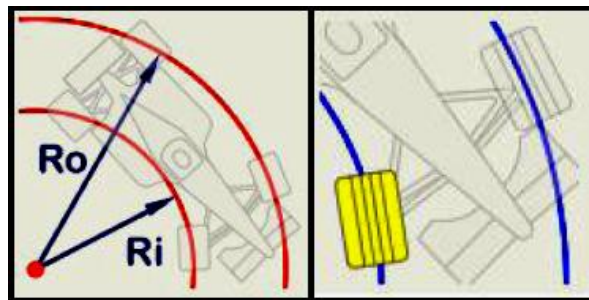


Figura 1.8: Raios de curvatura nas diferentes rodas. [5]

O sistema de actuação da direcção é baseado numa transmissão por pinhão – cremalheira, Figura 1.9, que converte o movimento rotacional de um servomotor no movimento linear que vai impor um ângulo as rodas.



Figura 1.9: Exemplo de um sistema de pinhão – cremalheira.

Para imobilizar ou reduzir a velocidade do robô é utilizado um travão mecânico de disco. O travão é actuado por intermédio de um cabo de aço que por sua vez possui na extremidade, um veio metálico, Figura 1.10 (a). Esse veio está localizado dentro de um solenóide, Figura 1.10 (b), e é puxado utilizando a força electromagnética gerada quando é alimentado a 12 V. Ao puxar o veio metálico, o travão é accionado através do cabo de aço.

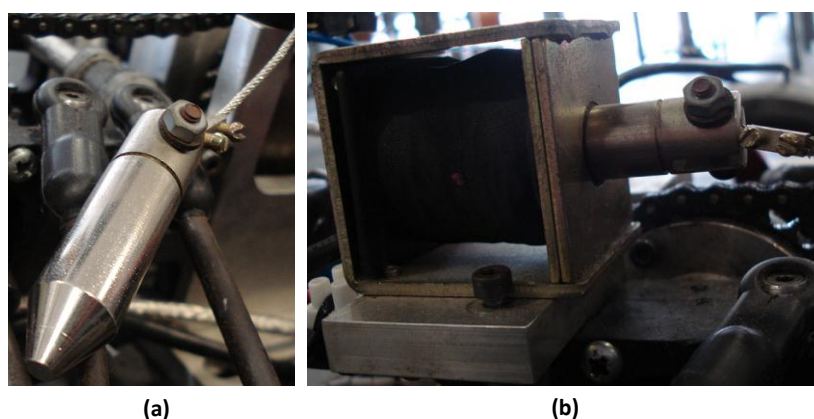


Figura 1.10: Sistema de travagem do ATLAS 2010. (a) Veio metálico; (b) Solenóide com o veio inserido.

Em geral a nível mecânico o robô apresenta algum desgaste, normal para a idade que tem, sendo esse desgaste mais visível nas rodas e no sistema de direcção (pinhão - cremalheira), que apresenta algumas folgas.

1.3.2 Electrónica e controlo

O controlo de alto nível do robô é efectuado recorrendo a um computador portátil, que acompanha o robô em funcionamento, posicionado numa plataforma construída para o efeito como se pode ver na Figura 1.6. O computador comunica directamente com as câmaras, através de uma ligação *Firewire*, e com duas placas electrónicas de controlo que possuem um microcontrolador cada uma, através de um conversor *RS232-USB*. Na Figura 1.11, pode-se ver um esquema representativo destas ligações.

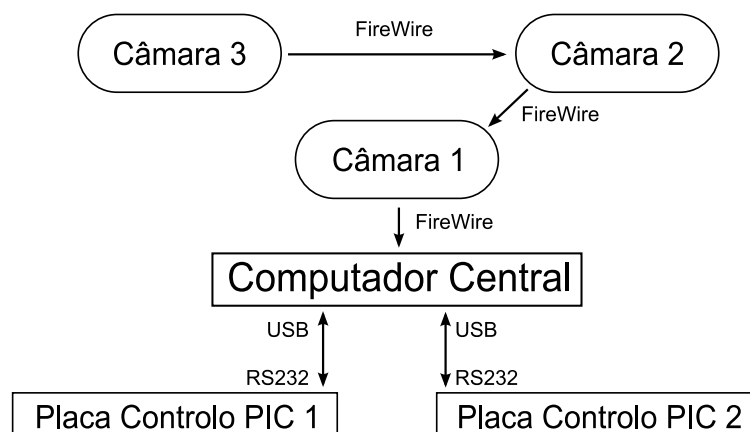


Figura 1.11: Esquema das ligações ao computador central.

As duas placas electrónicas de controlo de baixo nível comunicam directamente com o hardware e enviam informações e recebem ordens do computador central. Na Figura 1.12, está representado um esquema que mostra todo o hardware e ligações efectuadas na placa de controlo 1. Como se pode ver pelo esquema, a placa de controlo 1 é responsável por controlar a velocidade do robô, através da carta *Maxon*, a direcção, através do servomotor, e actuar o travão. Para controlar o servomotor da direcção o sinal da placa de controlo vai para uma pequena placa auxiliar, que possui um interruptor em série com a alimentação, e que é depois ligada ao servomotor. Para activar o solenóide do travão o sinal vai também para uma placa auxiliar com um relé que irá fornecer 12 V ao solenóide.

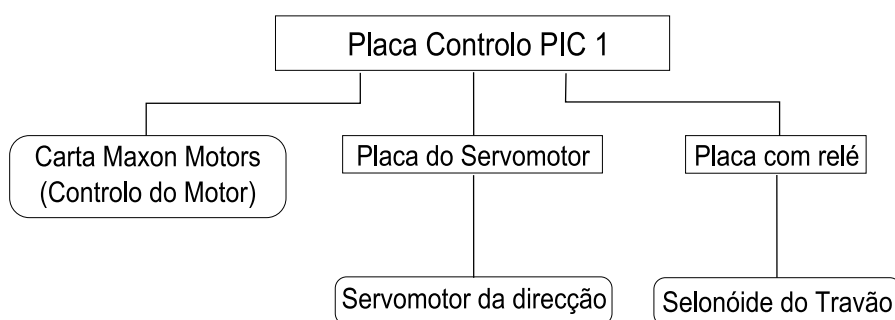


Figura 1.12: Esquema das ligações da placa de controlo 1.

Na Figura 1.13 estão representadas as ligações para a placa de controlo 2. Esta placa é responsável por adquirir as leituras dos sensores de infravermelho, que detectam a linha da passadeira, e por activar luzes. Os sensores estão ligados a uma placa auxiliar que faz o *AND*

lógico do sinal, utilizando um pequeno circuito integrado. Desta forma, o código no microcontrolador fica mais simples e não é necessário ter duas entradas no microcontrolador para ler os sinais dos dois sensores. Utilizam-se dois sensores, posicionados no robô a uma distância de 10 cm entre si, para garantir que apenas quando ambos estão a detectar uma zona branca é que o robô está a passar pela passadeira.

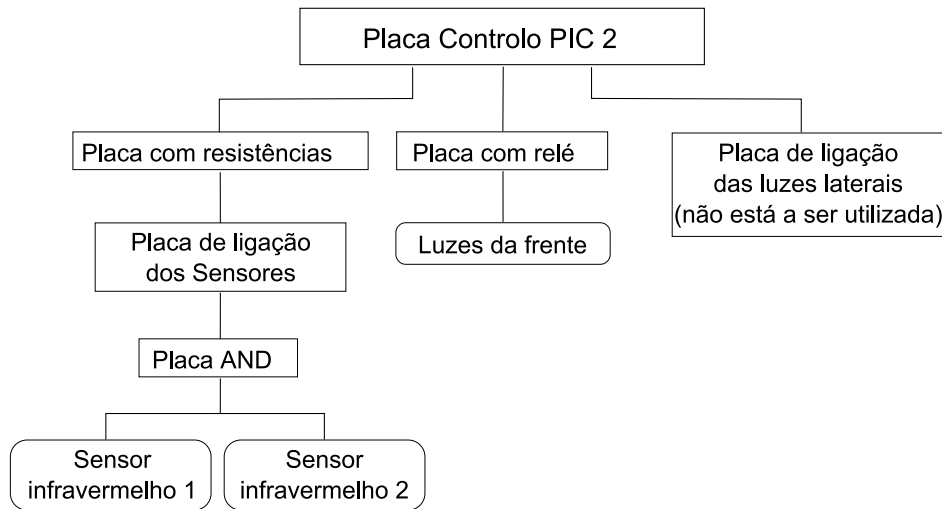


Figura 1.13: Esquema das ligações da placa de controlo 2.

Para activar as luzes da frente, tal como no solenóide do travão, o sinal vai da placa de controlo para uma placa auxiliar com um relé que depois activa as luzes, com 24 V. Existe ainda uma placa para ligação das luzes laterais, de sinalização de marcha, mas não está a ser utilizada pois o robô não possui essas luzes instaladas.

Como se pode ver pelos esquemas anteriores existem muitas placas auxiliares, tendo a maioria, para além das ligações para transmissão dos sinais de controlo, ligações para a alimentação. Na Figura 1.14 está representado um esquema do sistema de alimentação dos principais componentes do robô.

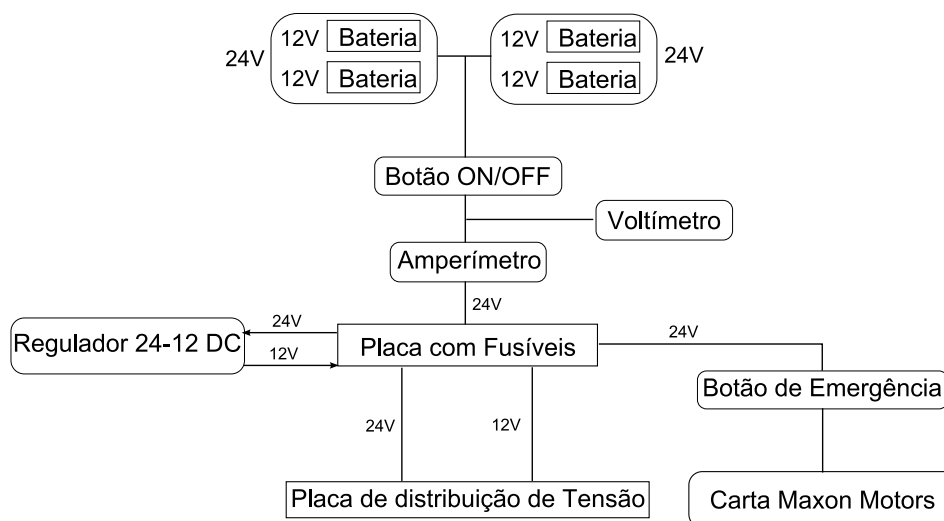


Figura 1.14: Esquema da alimentação eléctrica do sistema.

A alimentação provém de 4 baterias de 12 V, cada uma com uma capacidade de 6700 mAh. Encontram-se ligadas em série duas a duas de modo a obter 24 V que é a tensão de alimentação primária e são ligadas de seguida em paralelo. Estão em série com um botão *On/Off* e com um amperímetro e em paralelo com um voltímetro. Uma placa com fusíveis protege os componentes alimentados e fornece directamente 24 V à carta *Maxon* do motor. Essa ligação está em série com um botão de emergência que permite imobilizar o robô a qualquer altura. A placa fornece ainda 12 V e 24 V à placa de distribuição de tensão, Figura 1.15, obtidos através do regulador 24V-12V DC. Na placa de distribuição existem reguladores de tensão integrados que fazem a conversão para as diversas tensões necessárias e possui conectores para ligar às placas e componentes que necessitam de alimentação.

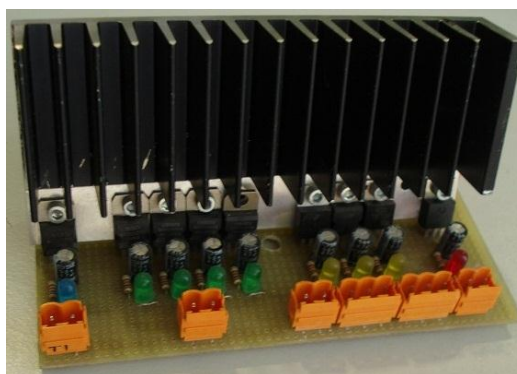


Figura 1.15: Placa de distribuição de tensão do ATLAS 2010.

Este sistema de distribuição de energia e a grande quantidade de placas auxiliares existentes necessitam de ser suportados por uma grande quantidade de cabos. Estes cabos, para além de ocuparem espaço, tornam o sistema desorganizado e complexo, Figura 1.16. Este problema é agravado também pelo facto de as placas se encontrarem dispersas ao longo do chassis.

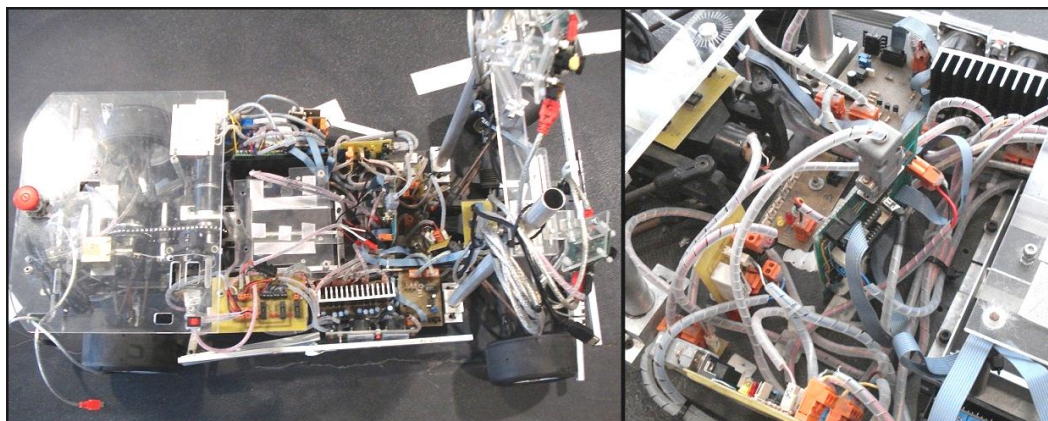


Figura 1.16: Placas electrónicas e cabos instalados no ATLAS 2010.

Existem placas de circuito impresso e placas com pistas de solda, algumas isoladas electricamente com cola térmica e outras sem qualquer isolamento, Figura 1.17. Também não existe nenhuma estrutura única de suporte, estando as placas, soltas ou furadas e fixas por chapas de metal, aparafusadas ao chassis. Devido a esta fragmentação, as diversas funcionalidades do robô encontram-se isoladas umas das outras o que torna difícil a adição de novo hardware, que interaja com o já existente, sem que seja necessário fazer grandes alterações nas placas.

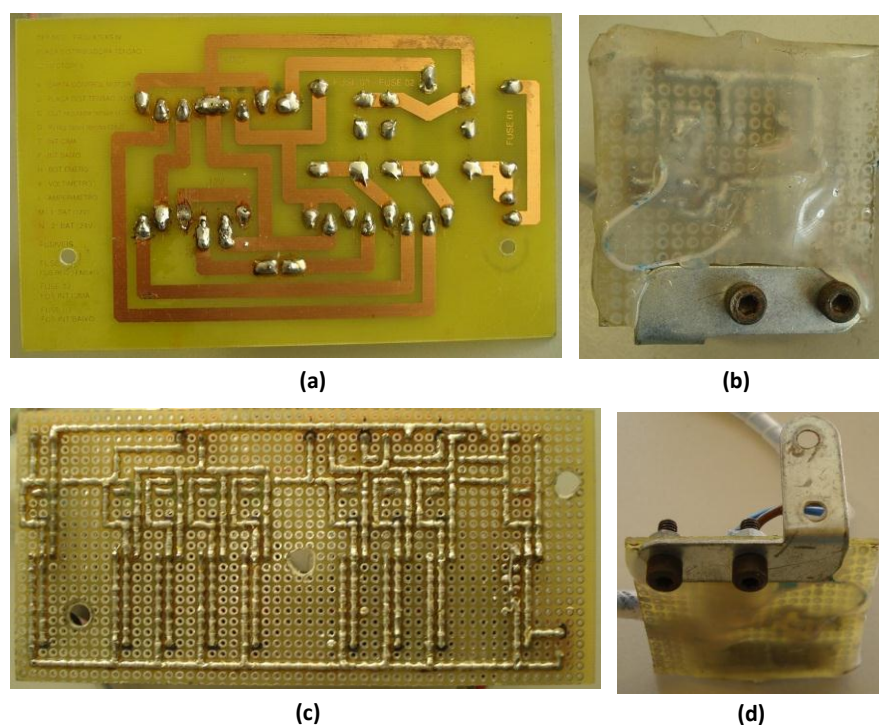


Figura 1.17: Exemplos dos tipos de placas instaladas no ATLAS 2010.

- (a) Placa de circuito impresso sem isolamento eléctrico;
- (b) Placa isolada com cola térmica;
- (c) Placa com pistas de solda sem isolamento eléctrico;
- (d) Placa com chapa de metal para suporte.

1.3.3 Software

A arquitectura de software instalada no robô, para a navegação autónoma, é baseada num único programa que processa todos os dados vindos do hardware de modo sequencial, alterando estados e determinando o comportamento do robô. Esta arquitectura traz problemas graves, no sentido em que pequenas mudanças no código podem ter grandes consequências no desempenho global. Por exemplo, caso o programa fique parado ou demore demasiado tempo a executar uma determinada instrução, todo o programa fica bloqueado.

Para ultrapassar estes problemas, uma arquitectura modular como a do *Carmen* (*Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit*) seria o ideal. O *Carmen* é uma colecção de software *open-source* para o controlo de robôs móveis [6]. Fornece várias funções para criação de módulos e também para a comunicação entre eles. Essa comunicação é feita recorrendo a um pacote de software designado por *IPC* (*Inter Process Communication*). Através do *IPC* é possível partilhar informação entre módulos de forma eficiente. Este carácter modular permite aumentar a complexidade do

sistema sem que para isso tenham que ser feitas alterações em todo o resto que já está desenvolvido.

Para converter a arquitectura actual num sistema modular seria necessário dividir o programa único em vários subprogramas (módulos) em que cada um seria responsável por uma pequena quantidade de tarefas. Estes módulos são então processados paralelamente e comunicariam entre si para partilharem informação, utilizando o *IPC*. Este processo de troca de mensagens é baseado num sistema de publicação - subscrição. Módulos que comunicam directamente com o hardware podem publicar uma mensagem com os dados obtidos. Por sua vez, apenas os módulos que subscrevam essa mensagem a vão receber. O módulo que subscreve pode também definir se apenas quer receber a mensagem mais recente ou se todas as que ainda não recebeu, por ordem até um limite de 100. Este sistema simplifica as comunicações e restringe a recepção de mensagens a módulos que realmente precisem dessa informação. A taxa de publicação é definida pelo programador, que deve ter em atenção qual a taxa a que o módulo ou módulos subscritores conseguem lidar com a informação recebida. É recomendável que o módulo subscritor funcione a uma velocidade igual ou superior ao módulo que publica [7].

Actualmente, o robô ATLAS possui alguns módulos criados que seguem a filosofia descrita anteriormente. No entanto são apenas os módulos necessários para controlar o robô manualmente utilizando um *gamepad*. Todos os módulos que forem criados no âmbito desta dissertação irão seguir a metodologia do *Carmen*.

1.4 ATLAS MV

O ATLAS MV, Figura 1.18, é outro dos robôs para condução autónoma pertencente ao projecto ATLAS. Foi desenvolvido em 2008 e parcialmente financiado pelo projecto Mecânica Viva [8]. Os componentes mecânicos foram projectados e maquinados nas oficinas do DEM e as placas de controlo, inspiradas nas placas do ATLAS III, foram pensadas de modo a tornar a arquitectura modular e expansível.

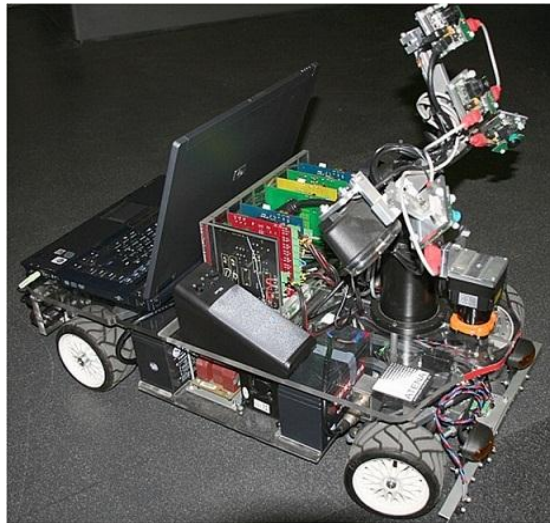


Figura 1.18: ATLAS MV.

Ao contrário das placas do ATLAS 2010, o MV possui uma placa principal (placa mãe), que permite o encaixe de até oito placas periféricas. A placa mãe é responsável por fornecer a alimentação as placas periféricas e possui 32 pistas que estão disponíveis a todas as placas, servindo de ligação entre elas. É um robô mais pequeno que o ATLAS 2010 o que o torna também mais manobrável. A nível de hardware os robôs são semelhantes, no entanto o MV possui para além das câmaras e dos sensores da passadeira, um sensor laser 2D com uma amplitude de 270° e com uma distância máxima de 5 m. Este sensor extra permite ao robô navegar dentro de um túnel sem necessitar de ter luzes à frente.

A sua arquitectura de software é baseada totalmente no *Carmen* e no *IPC*. A similaridade de hardware entre os dois robôs ATLAS poderá vir a tornar possível a migração de algum do software modular do ATLAS MV para o ATLAS 2010.

1.5 Sistemas de segurança

Os sistemas de anti-colisão podem ser aplicados em variados sistemas, desde robôs, automóveis, aviões, barcos, etc. São aplicáveis a basicamente todos os sistemas que tenham movimento próprio e que sejam capazes de controlar esse mesmo movimento. Passam sempre por saber a posição do sistema a controlar em relação aos possíveis obstáculos que o rodeiam, agindo no sentido de evitar possíveis colisões.

1.5.1 Robôs

Nos robôs, estes sistemas são abundantes e baseiam-se em sensores de distância que podem ser de infravermelho, laser, ultra-sons, ou outros, de modo a conhecer a posição de obstáculos e assim tomar decisões. Perante a possibilidade de colisão é comum desviarem a sua trajectória ou simplesmente parar.

Esta tecnologia é bastante aplicada em robôs domésticos, como por exemplo os robôs aspiradores, que necessitam de navegar em ambientes muito distintos e evitar colidir com obstáculos. Tendo que estar preparados para ambientes relativamente hostis, como podem ser os compartimentos de uma casa, estes robôs normalmente utilizam vários sensores. No entanto, a maioria não utiliza sensores de ultra-sons, possivelmente por serem destinados ao uso doméstico e porque animais domésticos, como gatos e cães, conseguem ouvir frequências na gama dos ultra-sons e a sua utilização poderia provocar desconforto ou problemas aos animais.

Um exemplo deste tipo de robôs é o SV8855 desenvolvido pela Samsung [9]. Este robô, para além de uma câmara, que utiliza para auxiliar a sua navegação dentro de casa, utiliza sensores infravermelhos para detectar obstáculos no seu caminho e poder assim definir a sua trajectória sem colidir. Possui ainda sensores por baixo do chassis o que lhe permite detectar e evitar escadas, Figura 1.19.



Figura 1.19: Robô Aspirador SV8855 da Samsung.

Na área da investigação de sistemas anti-colisão a Nissan tendo vindo a desenvolver e a testar sistemas de segurança deste género em robôs, com o objectivo de mais tarde poderem vir a ser aplicados em veículos automóveis. O objectivo desta construtora automóvel é reduzir para metade o número de acidentes rodoviários envolvendo veículos da marca, até 2015.

Em 2008 apresentou o carro robô BR23C, que baseado no voo das abelhas evita colisões desviando-se de obstáculos. As abelhas possuem uma visão com uma amplitude de mais de 300

graus e em voo ao detectarem algo na sua zona de segurança, alteram a sua trajectória drasticamente em ângulos de mais de 90 graus. O robô, por sua vez, está equipado com um sensor laser 2D com um alcance máximo de 2 m e uma amplitude de 180 graus, que cobre a área a sua frente. Tal como uma abelha, quando o robô detecta um obstáculo na sua zona de segurança, recorre à desaceleração e rotação em ângulos de 90 graus ou superiores, sobre si próprio, de modo a evitar o obstáculo, Figura 1.20 [10].

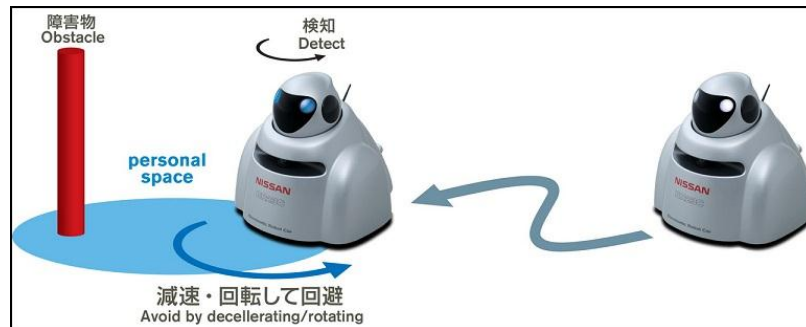


Figura 1.20: Modo de desvio dos obstáculos do Robô BR23C. [10]

No ano seguinte, em 2009, a Nissan voltou a apresentar um novo robô, o *EPORO*, Figura 1.21. O seu comportamento foi também inspirado no movimento de animais, neste caso, no movimento de peixes dentro de um cardume. Os responsáveis pelo desenvolvimento do robô caracterizaram o comportamento dos peixes com 3 regras, Figura 1.22. Essas foram depois aplicadas no controlo dos movimentos do *EPORO*.



Figura 1.21: Robô EPORO da Nissan. [11]

A aplicação destas regras que regem o comportamento do robô permitem-lhe não só desviar-se dos obstáculos mas também de se movimentar em grupo e desviar-se de obstáculos em grupo. O robô está equipado com um sensor laser 2D e possui uma tecnologia de comunicação sem fios

designada por UWB (*Ultra Wide Band*) que permite aos diversos robôs de um determinado grupo a partilha de informações sobre o ambiente e a sua posição [11].

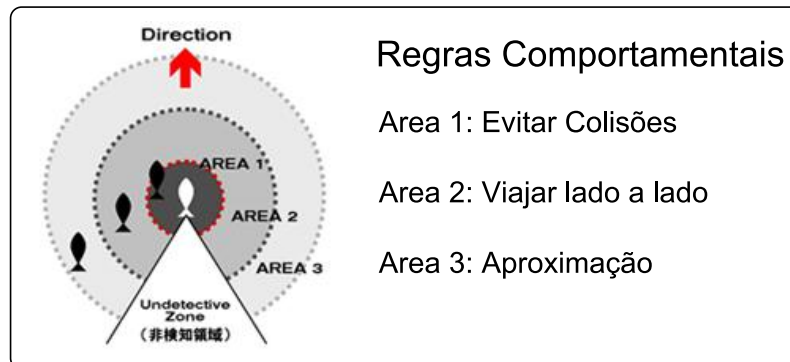


Figura 1.22: Regras comportamentais dos peixes aplicadas no controlo do EPORO. [11]

1.5.2 Automóveis

A indústria automóvel nos últimos anos tem vindo a fazer investigação em sistemas de anti-colisão de modo a diminuir o número de acidentes a que os veículos estão sujeitos. Existem marcas já com algumas soluções no mercado, no entanto, a maioria dos sistemas estão em fase de desenvolvimento. Espera-se destes sistemas que sejam robustos e fiáveis, devido ao poder de investimento da maioria das marcas automóveis, mas também porque são sistemas que irão proteger vidas humanas. O objectivo comum é criar automóveis à prova de colisão tornando-os assim mais seguros. De seguida irão ser analisados os sistemas implementados e em desenvolvimento por parte de 2 grandes marcas automóveis, a Volvo e a Ford.

Volvo

A Volvo foi uma das marcas pioneiras em sistemas de segurança anti-colisão, tendo apresentado em 2006 a segunda geração do seu modelo S80, equipado com um *Cruise Control* adaptativo e com um sistema anti-colisão denominado de: “*Collision Warning and Brake Support*” (CWBS). O *Cruise Control* adaptativo permite ao condutor definir a velocidade assim como a distância mínima ao veículo que segue a sua frente. Caso a distância ao veículo da frente se torne inferior à definida pelo condutor o computador central pode adaptar a velocidade de modo a respeitar a distância imposta. A distância é medida utilizando um radar e esses dados são também utilizados no CWBS. Este sistema, baseando-se na velocidade e na distância ao veículo (ou a outro obstáculo) posicionado à sua frente, consegue prever a ocorrência de uma colisão e avisar o

condutor através de sinais luminosos no painel de controlo juntamente com sinais sonoros. Prepara ainda o sistema de travagem para que esta seja mais rápida e eficaz [12].

Actualmente a marca esta a desenvolver um novo sistema de nome “*Collision Warning with Auto Brake*” (CWAB) e que será implementado no novo modelo S60. Combina um radar e uma câmara, com um alcance máximo de 150 m e 55 m, respectivamente. Combinando os dados destes dois sensores (*sensor fusion*) os resultados do sistema serão mais fiáveis e reduz-se a probabilidade de falsos positivos. Tal como o anterior, este sistema avisa o condutor quando existe a possibilidade de colisão, através de sinais luminosos e sonoros. No entanto, e caso o condutor não reaja, o sistema irá actuar automaticamente os travões, tentando evitar assim a colisão. Esta situação só acontecerá quando os dados da câmara e do radar forem concordantes [13].

FORD

A Ford possui um sistema anti-colisão muito semelhante ao CWBS da Volvo. Utilizando também um radar para medir as distâncias o computador central consegue mostrar avisos, luminosos e sonoros, de uma possível colisão e preparar o sistema de travagem, aproximando as pastilhas dos discos, para que a travagem seja mais rápida e eficaz.

Actualmente está também a desenvolver um novo sistema cujo objectivo é eliminar totalmente as colisões entre veículos automóveis e é designado por “*Automatic Braking Intersection Collision Avoidance System*” (ABICAS). Este sistema combina tecnologias como o GPS, câmaras, radar e comunicação *wireless* entre veículos para obter uma “visão” de 360º em redor do veículo. Deste modo, cada veículo saberá onde estão posicionados os veículos mais próximos de si, podendo assim evitar colisões. O sucesso desta tecnologia está muito dependente da sua aceitação por parte das outras construtoras automóveis, e só será possível se forem criados padrões que possam ser usados por todos [14].

Existe actualmente nos automóveis um sistema anti-colisão mais simples que os mencionados anteriormente e que já é utilizado há alguns anos como modo de auxílio ao estacionamento. Estes sistemas são baseados em sensores ultra-sons ou electromagnéticos que detectam a distância à frente e/ou atrás do veículo em relação aos obstáculos e avisam o condutor, normalmente com sinais sonoros intermitentes que variam em frequência com a distância ao obstáculo. Este é um sistema passivo que apenas indica a distância aos objectos sendo da responsabilidade do condutor agir da forma que achar mais correcta.

1.5.3 Aviões

Na indústria aeronáutica os sistemas de anti-colisão aplicados em aviões já existem desde a segunda guerra mundial (1939). Os primeiros sistemas, aplicados em aviões militares, recorriam a radares que para além de detectar a presença de aviões inimigos detectavam ainda obstáculos ou acidentes geográficos.

Actualmente nos aviões comerciais é obrigatório o uso de um sistema de anti-colisão entre aviões denominado "*Traffic Collision Avoidance System*" (TCAS). Neste sistema, tal como no que está a ser desenvolvido pela Ford (ABICAS), cada avião necessita de estar equipado com um dispositivo que permite fazer a comunicação entre outros aviões e com as torres de controlo.

Utilizando este sistema um avião em voo envia uma mensagem através de ondas rádio, de frequência igual a 1030 MHz, para todos os aviões que estejam ao seu alcance. Caso esteja algum avião presente, este envia uma mensagem de resposta, na frequência 1090 MHz, com informações do voo e a posição do avião em altitude. Assim, cada avião saberá sempre da existência de aviões na sua proximidade bem como a sua posição, que é indicada ao piloto. A versão mais actual deste sistema, o *TCAS II*, permite para além de saber a posição de outros aviões, dar instruções de mudança de altitude aos pilotos de modo a aumentar a distância entre os aviões, diminuindo assim a probabilidade de uma colisão. A implementação do *TCAS II* é obrigatória na Europa desde 2000, para aviões de transporte com capacidade para mais de 30 passageiros ou com mais de 15000 kg [15].

Dos sistemas referidos anteriormente, pode ser feita a distinção entre aqueles que detectam todos os obstáculos existentes no seu caminho ou em redor do veículo, utilizando sensores como o radar, laser, etc., e aqueles que apenas detectam outros veículos, estando ambos equipados com o mesmo dispositivo. Nos automóveis, os sistemas actuais dão informações sobre o ambiente e alertam para as possibilidades de uma colisão. No entanto, a investigação nesta área irá levar ao aparecimento de sistemas que são capazes de agir na eminência de uma colisão, tentando evitá-la. Os sistemas de segurança desenvolvidos nesta dissertação baseiam-se em sensores de distância de modo a que as colisões sejam evitadas com qualquer obstáculo que esteja no caminho do robô, recorrendo para isso à imobilização e à alteração de direcção.

2 Reconfiguração do ATLAS 2010

A reconfiguração do robô ATLAS passa pela substituição das placas electrónicas, cabos e conectores de modo a que o restante hardware fique compatível com a nova electrónica. Foi ainda desenvolvida uma caixa em acrílico que serve de suporte e protecção das placas. Verificou-se que em geral o estado dos componentes mecânicos é aceitável. Apenas as rodas apresentam um desgaste mais preocupante que começa a afectar a aderência.

2.1 Substituição das Placas

A substituição das placas electrónicas do ATLAS é uma tarefa importante, que veio tornar a plataforma modular e expansível. Foram usadas cópias, já existentes, das placas desenvolvidas para o ATLAS MV. Estas placas, Figura 2.1, foram baseadas nas placas originais presentes no ATLAS 2010, logo a compatibilidade estará à partida assegurada.

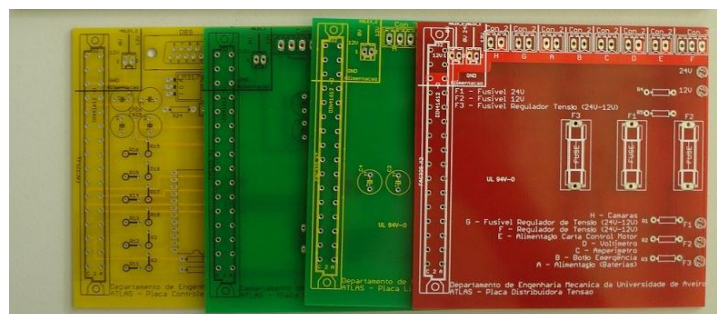


Figura 2.1: Cópias das placas do ATLAS MV desprovidas de componentes.

Esta nova arquitectura, representada esquematicamente na Figura 2.2, é suportada por uma placa mãe, que fornece alimentação as placas periféricas e ligação entre elas. Assim, o sistema irá ficar mais simples e vai eliminar a necessidade de placas auxiliares e o excesso de cabos para distribuição de potência. Ficará também mais expansível, facilitando a integração do novo hardware que será utilizado no desenvolvimento dos sistemas de segurança.

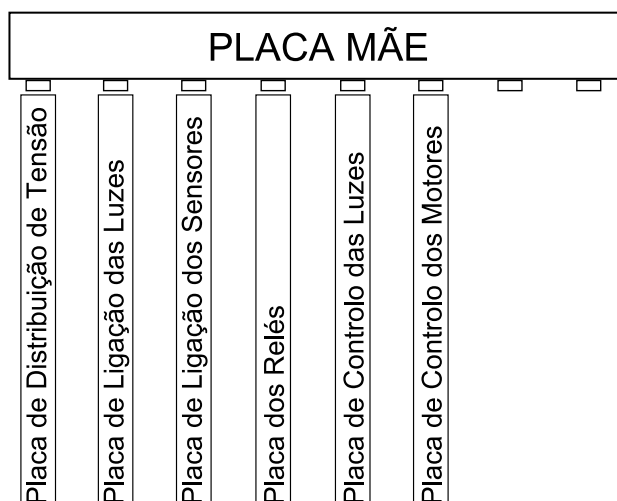


Figura 2.2: Arquitectura das novas placas a instalar no ATLAS 2010.

2.2 Soldadura

Antes de se proceder à soldadura das placas foi feito um inventário de todos os componentes necessários, quais os que estavam disponíveis e os que teriam que ser adquiridos. Após ter todos os componentes a soldadura foi efectuada recorrendo à estação de soldadura, Figura 2.3, presente no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) do DEM da UA.

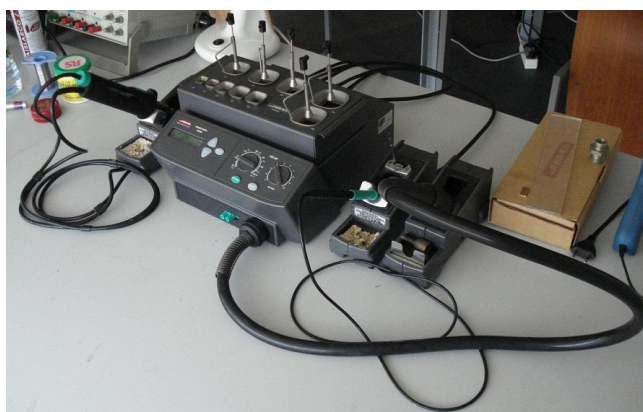


Figura 2.3: Estação de soldadura do LAR.

2.3 Novas Placas

Antes de iniciar a concepção das novas placas, já se tinha conhecimento que algumas possuíam erros nos circuitos eléctricos e que necessitavam de alterações para poderem funcionar correctamente. A maior parte desses erros já estavam corrigidos nas placas presentes no ATLAS MV. No entanto, para efectuar as correcções na placa dos relés, que não é utilizada no ATLAS MV, teve que ser feita uma análise cuidada dos circuitos da placa para detectar os erros presentes. O ATLAS MV não utiliza esta placa porque o sistema de actuação do travão é diferente e não utiliza luzes de iluminação na frente, não necessitando assim de relés. De seguida apresenta-se uma breve descrição das funções de todas as placas, e no anexo A pode ser encontrada informação mais detalhada bem como a descrição dos erros corrigidos e das alterações feitas.

2.3.1 Placa Mãe

Esta placa designa-se por placa mãe pois é nesta que todas as outras placas encaixam. Suporta até oito placas de expansão, ligadas através de conectores de 32 pinos, que facilitam o seu encaixe e remoção. As pistas A, B e C, Figura 2.4, levam alimentação a todas as placas de expansão e possuem 12 V, 24 V e a massa, respectivamente. As restantes são usadas para fazer a ligação entre placas que necessitem de comunicar entre si. A placa pode ser alimentada através da placa de distribuição de tensão que possui ligação às baterias ou externamente através de dois conectores “Molex” de 2 pinos. Tem também dois “LEDs” (*light-emitting diode* ou diodo emissor de luz) de sinalização da presença de voltagens, 12 V e 24 V.

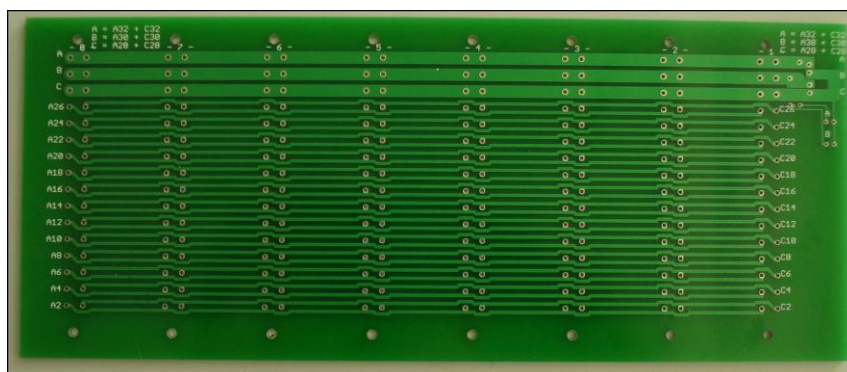


Figura 2.4: Placa Mãe.

2.3.2 Placa de Distribuição de Potência

A placa de distribuição de potência, representada na Figura 2.5, é a responsável pela alimentação de toda a electrónica e dispositivos periféricos presentes no robô. Está preparada para receber 24 V, vindos das baterias, e fornecer 24 V, 12 V e a massa às linhas de tensão da placa mãe. Podem ser encontrados mais detalhes sobre a placa na secção A.1 do Anexo A.

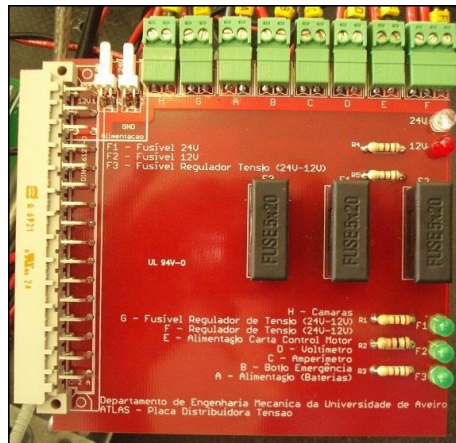


Figura 2.5: Vista de cima da placa de distribuição de potência.

2.3.3 Placa de ligação dos sensores

É na placa de ligação dos sensores, representada na Figura 2.6, que são ligados os sensores de infravermelho que detectam as linhas da passadeira. Para além destes é possível ligar mais 4 sensores genéricos. Possui ligações, através da placa mãe, à placa de controlo dos sensores e das luzes, que é responsável pelo tratamento dos sinais. Podem ser encontrados mais detalhes sobre a placa na secção A.2 do Anexo A.

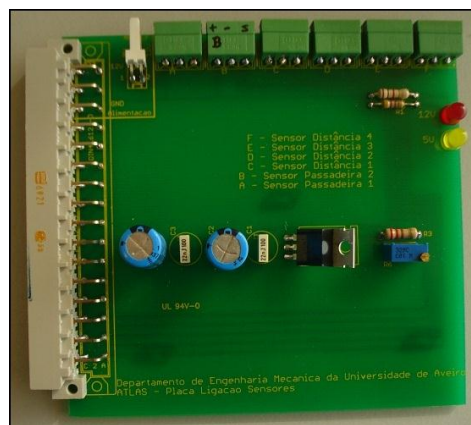


Figura 2.6: Vista de cima da placa de ligação dos sensores.

2.3.4 Placa de ligação das luzes

A placa de ligação das luzes, representada na Figura 2.7, tem ligação para as luzes de sinalização de marcha (piscas), de travagem e de marcha atrás. Possui ligação à placa de controlo dos sensores e das luzes, que é a responsável por enviar o sinal que liga ou desliga as luzes. Actualmente o robô não possui nenhuma das luzes mencionadas, no entanto, é mais uma funcionalidade que fica disponível no futuro e para a qual o hardware está preparado. Esta placa não possuía erros e não sofreu qualquer alteração. O esquema eléctrico encontra-se na secção A.3 do Anexo A.

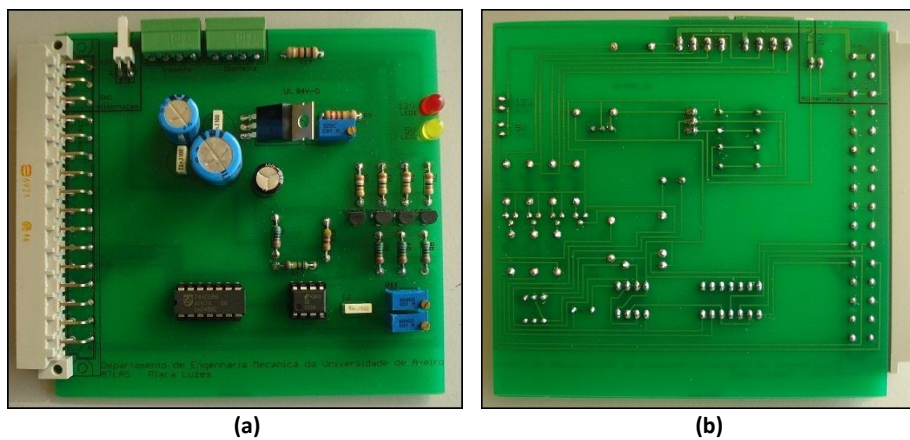


Figura 2.7: Placa de ligação das luzes. (a) Vista de cima; (b) Vista de baixo.

2.3.5 Placa dos Relés

A placa dos relés, tal como o nome indica, é onde estão colocados os relés: um mecânico e dois de estado sólido, Figura 2.8. O relé mecânico é responsável por activar as luzes da frente do robô e um dos relés de estado sólido activa o solenóide do travão. Para isso, esta placa tem ligação às duas placas de controlo das quais recebe os sinais que accionam os relés. Uma descrição mais detalhada sobre o modo de funcionamento da placa, bem como a correcção dos erros, pode ser encontrada na secção A.4 do Anexo A.

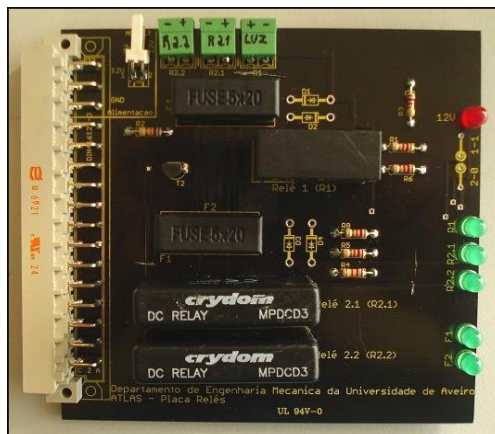


Figura 2.8: Vista de cima da placa dos relés.

2.3.6 Placa de Controlo dos sensores e das luzes

A placa de controlo dos sensores e das luzes, Figura 2.9, é responsável pelo processamento dos sinais vindos da placa de ligação dos sensores, e também pela activação de todas as luzes do robô. Possui um microcontrolador e uma comunicação bidireccional com o computador central através de um conversor RS232-USB. Envia o estado dos sensores e recebe ordens para ligar ou desligar luzes. Existem mais informações sobre esta placa, bem como o esquema eléctrico, na secção A.5 do Anexo A.

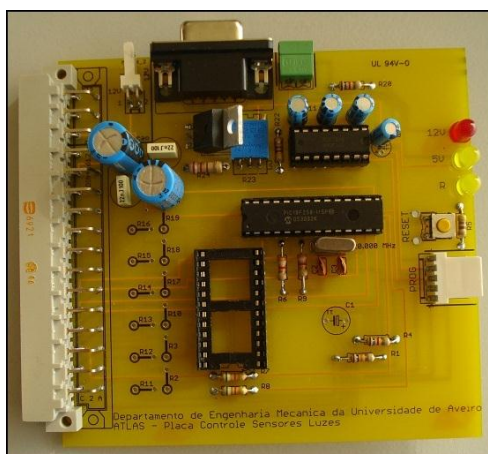


Figura 2.9: Placa de controlo dos sensores e das luzes.

2.3.7 Placa de Controlo dos motores e do travão

A placa de controlo dos motores e do travão, representada na Figura 2.10, é a responsável por controlar o travão, o motor de tracção, o servomotor da direcção e por contar o número de voltas que o motor dá por segundo, fazendo assim uma estimativa da velocidade a que o robô se desloca.

O controlo do motor é feito em tensão, através da carta *Maxon*, Figura 2.11. Esta carta possui dois conectores, o “set value -” e o “set value +”, e a velocidade do motor é dada em função da diferença de tensão entre eles. A tensão que a carta aceita vai de -10 V a +10 V.

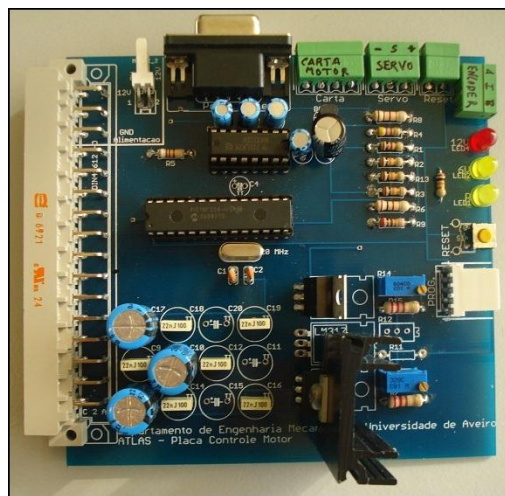


Figura 2.10: Placa de controlo dos motores e do travão.



Figura 2.11: Carta *Maxon* de controlo do motor.

O microcontrolador desta placa possui uma estimativa da velocidade instantânea do robô, recorrendo para isso à leitura do *encoder* do motor, que fornece três canais, A, B e I bem como as suas inversões. Para ter uma estimativa de velocidade o mais precisa possível, o ideal seria ler os

canais A e B, extraíndo a velocidade assim como a direcção do movimento. No entanto o canal A e B fornecem 500 impulsos por volta o que torna impossível a sua contagem pelo microcontrolador usado. Sendo assim, apenas a contagem do canal I é efectuada, dando uma estimativa da velocidade mas que não permite saber qual a direcção. Esta situação não é grave uma vez que o robô se move maioritariamente para a frente.

Uma descrição mais detalhada sobre a placa e a correcção de erros pode ser encontrada na secção A.6 do Anexo A.

2.4 Programação dos microcontroladores

Como foi visto anteriormente, das novas placas utilizadas existem duas que possuem microcontroladores. Ambos tiveram que ser programados de acordo com as funções para as quais estavam destinados. Nesta secção é feita uma análise sobre a programação dessas duas placas.

2.4.1 Placa de controlo dos sensores e das luzes

A placa de controlo dos sensores e das luzes foi programada com o mesmo código que está presente na placa do ATLAS MV. Esta placa é responsável pelo controlo de todas as luzes e por ler o sinal vindo dos sensores e guardar o seu estado. O programa aceita ordens vindas do computador, pela porta série, sob a forma de bytes. Estas ordens podem ser para ligar ou desligar luzes e para pedir o estado dos sensores, como pode ser visto na tabela da Figura 2.12.

Mensagens do Microcontrolador de Controlo dos Sensores e das Luzes	
11xxxxxx	Envia o estado dos Sensores
00000001	Liga luzes de travagem
00000010	Liga luzes de marcha atrás
00000100	Liga luzes de sinalização de marcha à direita
00001000	Liga luzes de sinalização de marcha à esquerda
00010000	Liga luzes de iluminação à frente

Figura 2.12: Mensagens aceites pelo microcontrolador da placa de controlo dos sensores e das luzes.

2.4.2 Placa de controlo dos motores e do travão

A placa de controlo dos motores foi programada com um programa baseado no que existe no microcontrolador da placa com a mesma função no ATLAS MV. Este programa é responsável por gerar dois sinais PWM (*Pulse Width Modulation*), um para o servomotor da direcção e outro para o motor de tracção, manter uma estimativa da velocidade do robô e controlar o travão.

A estimativa da velocidade é obtida contando o número de voltas que o motor dá, utilizando para isso o canal I do *encoder* do motor. Esta estimativa é usada para saber se o robô deve travar quando lhe é pedida uma velocidade inferior à actual. Para isso é feito um simples cálculo, se a diferença entre a velocidade actual e a velocidade pedida for maior que um determinado valor, obtido experimentalmente, então o travão deve ser accionado para que a desaceleração seja mais rápida.

Tendo os dois robôs motores de tracção semelhantes, a parte da geração do PWM e a contagem de voltas do motor é compatível e não foi alterada. No entanto, na geração do PWM para o servomotor da direcção tiveram que ser feitas algumas alterações, pois os servomotores não são iguais e tem parâmetros de controlo diferentes. O servomotor do ATLAS 2010 tem mais de cinco anos e está dentro de um suporte de plástico colado o que torna difícil desmontar sem danificar o suporte. Sendo assim, o modelo do servomotor não é conhecido o que impossibilita a aquisição de um "*datasheet*" que permita saber quais as suas características.

Analisando uma versão antiga do código presente no microcontrolador que controlava o servomotor na electrónica antiga, foi encontrado nos comentários a indicação que o PWM era de 70 Hz com uma largura de pulso variável entre 1.2 e 1.8 milissegundos (ms). No entanto, após se ter programado o microcontrolador para gerar esse mesmo PWM, o servomotor apresentava-se instável para várias posições. Foi então medida a frequência e as larguras de pulso do PWM que a electrónica antiga estava a enviar para o servomotor, utilizando um osciloscópio, ao que se descobriu ser de 76 Hz com uma largura de pulso variável entre 1.1 e 1.9 ms, para cada extremo. Após terem sido aplicadas estas alterações o servomotor passou a ter um desempenho bastante aceitável, igual ao que tinha com a electrónica antiga.

O programa está preparado para receber ordens vindas do computador através da porta série, na forma de um byte, e podem ser de velocidade ou direcção. A velocidade é definida entre 0 e 100, correspondendo o 0 à velocidade máxima em marcha atrás, 100 à velocidade máxima para a frente e 10 para o robô estar imóvel. A direcção é definida entre 0 e 90, correspondendo o 0 ao ângulo máximo de viragem para a direita, 90 ao ângulo máximo para a esquerda e o 45 ao ângulo zero, sem direcção de viragem. Na tabela da Figura 2.13 estão representadas as mensagens admitidas pelo programa do microcontrolador.

Mensagens do Microcontrolador de Controlo dos Motores	
1 x x x x x x x <=90	0 x x x x x x x <=100
Ordem de direcção	Ordem de velocidade
xxxxxxx varia entre 0 e 90	xxxxxxx varia entre 0 e 100
0 Direcção máxima à esquerda	0~9 Velocidade para trás
45 Direcção no centro	10 Parado
90 Direcção máxima à direita	11~100 Velocidade para a frente

Figura 2.13: Mensagens aceites pelo microcontrolador da placa de controlo dos motores e do travão.

O programa ainda sofreu alterações de modo a implementar o sistema de anti-colisão, mas estas são abordadas em detalhe no capítulo 4.

2.5 Testes em bancada

Após terem sido concluídas todas as placas e a programação dos microcontroladores, foram efectuados testes em bancada de modo a validar o seu funcionamento. Inicialmente as placas foram testadas utilizando um multímetro para verificar se existiam problemas ao nível das ligações. Após esta verificação inicial, efectuaram-se testes utilizando todas as placas ligadas em conjunto. Para a realização destes testes foram feitas adaptações nos conectores dos diferentes componentes, como os motores, travão, luzes, etc., para que fossem compatíveis com os encaixes das novas placas. Utilizando um software de comunicação RS232 foram enviadas mensagens para as placas de controlo e verificou-se se o resultado era o pretendido. Apenas quando todo o hardware estava a funcionar correctamente é que foi efectuada a substituição total da electrónica.

2.6 Remoção das placas antigas e colocação das novas

Após ter todas as placas prontas e testadas em bancada, deu-se início à substituição das antigas. Foram removidas todas as placas que não teriam mais uso na nova arquitectura, ficando apenas três placas isoladas de pequena dimensão. Duas associadas ao motor de tracção e uma responsável por fazer o AND dos sinais dos sensores de detecção da passadeira. Na Figura 2.14

pode-se ver o aspecto do robô apenas com as placas que continuaram a ser necessárias e na Figura 2.15 estão as placas que foram removidas.

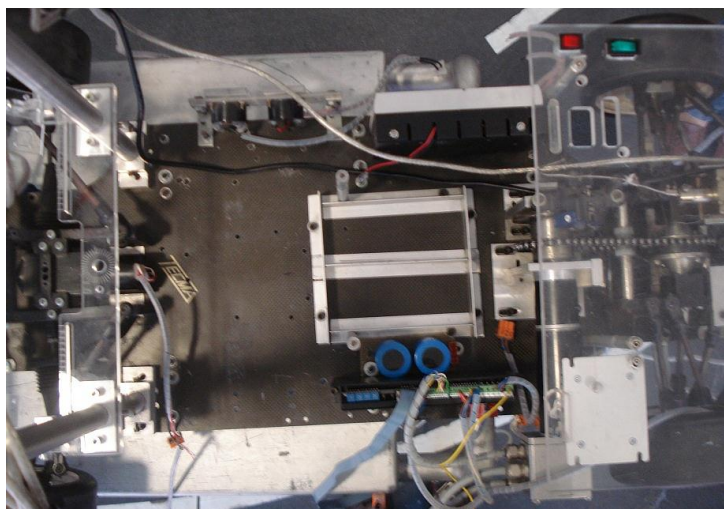


Figura 2.14: ATLAS 2010 sem placas electrónicas instaladas.

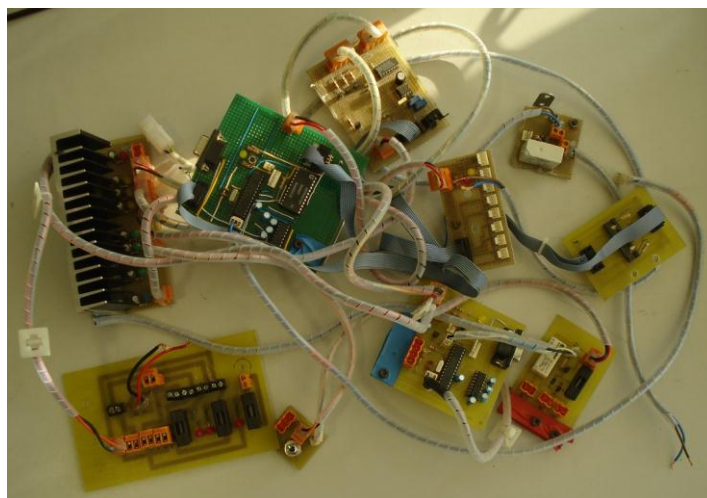


Figura 2.15: Placas electrónicas removidas do ATLAS 2010.

Para além das placas, foram também removidas todas as chapas de suporte e parafusos que as fixavam ao chassis, assim como alguns dos cabos de ligação dos dispositivos, uns por já não serem necessários e outros porque foram substituídos, Figura 2.16.

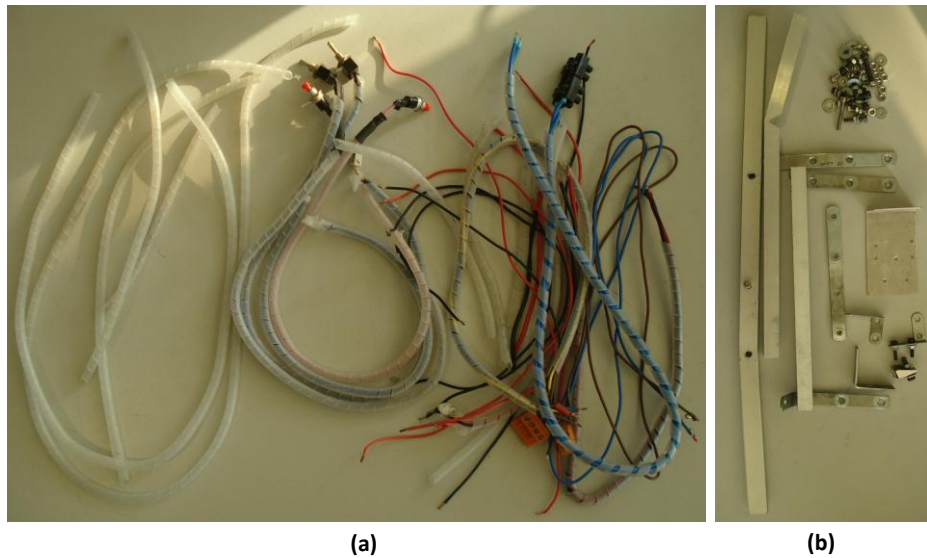


Figura 2.16: Componentes retirados do ATLAS 2010. (a) Cabos e braçadeiras; (b) Chapas e parafusos.

2.7 Suporte das novas placas

De modo a proteger as novas placas, foi desenvolvido uma caixa em acrílico para as alojar, baseada na caixa com a mesma função presente no ATLAS MV. É constituída por quatro peças e tem as dimensões necessárias para alojar a placa mãe e guiamentos para as oito placas que ela suporta. É fixa ao chassis do robô por intermédio de 4 parafusos M5, e fica assente em dois suportes de alumínio, Figura 2.17 (a), de modo a ficar elevada para que seja possível passar cabos por baixo, para uma melhor arrumação. Para a modelação das peças da caixa foi utilizado o software *CATIA* e todas elas foram maquinadas nas oficinas do DEM. Os desenhos de definição das peças podem ser encontrados no Anexo B.

Assim que concluídas, as peças foram coladas com *Araldite*, que é uma cola de resina *epóxi* muito resistente, estando o resultado representado na Figura 2.17 (b). A cola que foi utilizada possui uma resistência de 320 kg/cm^2 . Foi escolhida cola em vez de ligações aparafusadas, pois tendo em conta a geometria e o modo de fixação ao chassis do robô, a caixa não precisa de ser desmontável e é facilmente retirada em bloco único.

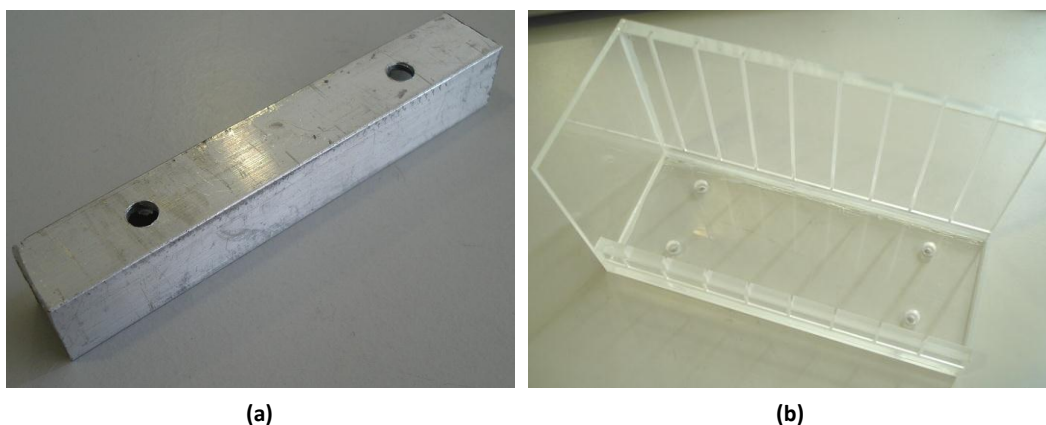


Figura 2.17: (a) Suporte de alumínio para elevação da caixa de suporte das placas; (b) Caixa em acrílico para suporte e protecção das placas.

2.8 Substituição das Rodas

De todos os componentes do robô, talvez aquele em que o desgaste é mais visível são as rodas. São constituídas pelo pneu, jante e possivelmente uma borracha entre o pneu e a jante, como é comum existir em rodas deste género. Todas estas partes se encontram coladas, transformando a roda num único componente, Figura 2.18.

As dimensões declaradas nos pneus da frente e nos de trás são de 150 e 160 mm, respectivamente. A borracha dos pneus apresenta-se nalguns sítios ressequida e em geral a superfície que contacta com o solo está completamente lisa, faltando mesmo alguns milímetros de borracha que levam a uma diferença de dimensões em relação ao descrito nos pneus. Neste estado, as rodas têm pouca aderência ao piso e em travagens bruscas, com grandes desacelerações, as derrapagens são inevitáveis. Originando assim um aumento do tempo e distância de travagem, sendo por isso importante a sua substituição.



Figura 2.18: Rodas do ATLAS, da frente com jantes pretas e de trás com jantes vermelhas.

Foi efectuada uma pesquisa por várias lojas *online* de rádio modelismo, na tentativa de encontrar rodas que pudessem substituir as actuais. Numa pesquisa inicial constatou-se que as medidas das rodas não são muito comuns e não foi possível encontrar nada com as medidas pretendidas. Numa segunda fase, foram contactadas varias dessas lojas através de *e-mail*, no sentido de obter ajuda na aquisição de rodas com as dimensões necessárias. A maioria das respostas foram negativas, no entanto, houve uma loja que possuía rodas com dimensões ligeiramente superiores, (+10 mm) que iriam servir sem problema. Infelizmente verificou-se que o sistema de encaixe das rodas não era compatível, pois o existente no ATLAS 2010, Figura 2.19, tem dimensões demasiado pequenas para os encaixes das rodas existentes.

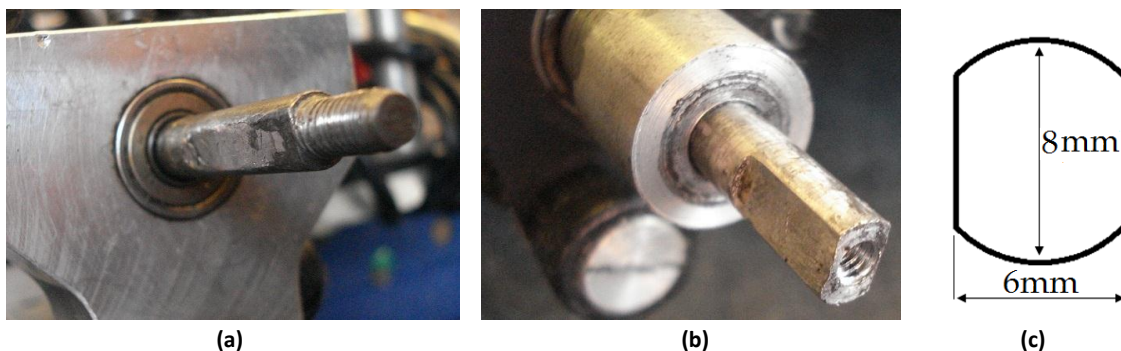


Figura 2.19: Sistema de encaixe das rodas.
 (a) Veio de encaixe das rodas de trás;
 (b) Veio de encaixe das rodas da frente;
 (c) Dimensões do encaixe.

Continuaram os contactos com a loja de modo a averiguar a existência de um adaptador para o encaixe das rodas. Apesar de existirem adaptadores, nenhum dava para adaptar directamente

no veio actual. Ao comprar um adaptador, seria necessário modificá-lo ou furar o veio de encaixe das rodas de modo a criar um ajuste aceitável. Sendo assim, optou-se por não adquirir novas rodas pois considera-se que a opção mais viável será desenvolver um adaptador específico para as rodas que se possam vir a adquirir no futuro, garantindo assim um ajuste perfeito.

2.9 Testes e resultados em condução

Assim que todos os novos componentes estavam concluídos, procedeu-se à sua montagem e organização dos respectivos cabos. O sistema ficou com o aspecto que se apresenta na Figura 2.20. Para validar o funcionamento do robô foram efectuados testes em condução autónoma e em condução manual, utilizando um *gamepad*.

Nos testes em condução manual foram utilizados os módulos do *Carmen* já existentes para o ATLAS MV, visto que as novas placas do ATLAS 2010 são idênticas. Neste modo de funcionamento não são usados os dados das câmaras nem dos sensores e apenas são necessários dois módulos: um que comunica com o *gamepad* e outro que envia as ordens para as placas electrónicas. Tendo em conta os testes realizados, a compatibilidade do software para condução manual foi validada com sucesso.

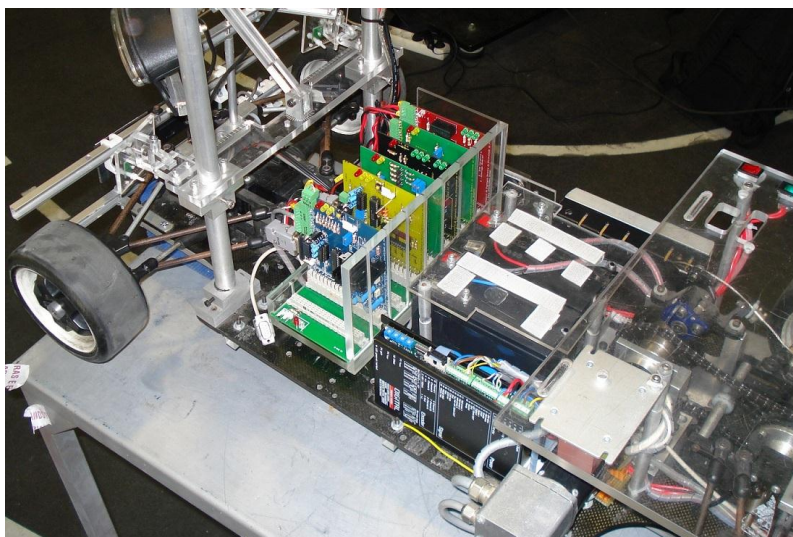


Figura 2.20: ATLAS 2010 após a reestruturação aplicada.

Em condução autónoma foi utilizado o programa, em bloco único, que era utilizado com a electrónica antiga, com umas pequenas alterações. As alterações feitas deveram-se à diferença na comunicação do computador com a placa de controlo dos motores e do travão. Nomeadamente

nas ordens de velocidade que anteriormente variavam entre 0 e 10 e na nova electrónica variam de 0 a 100.

Não foi utilizado o software de condução autónoma do ATLAS MV pois existem diferenças a nível do hardware entre os dois robôs que torna impossível fazer uma simples cópia de software. Nomeadamente a presença do laser 2D que não existe no ATLAS 2010 e a posição das câmaras não ser a mesma. O ATLAS MV possui as câmaras orientadas para dentro e o algoritmo de visão faz uma reconstrução da pista vista de cima, “*birdview*”. Para mais informações sobre esta matéria pode ser consultado o artigo científico ao qual deu origem, publicado por *M. Oliveira e V. Santos* [16].

3 Novo Hardware

Para o desenvolvimento de um sistema de emergência anti-colisão e de um sistema de auxílio à navegação, são necessários sensores apropriados para a medição de distâncias. Não tendo o ATLAS 2010 este tipo de sensores foi desenvolvida uma nova placa electrónica para os integrar.

Os requisitos para o desenvolvimento desse novo hardware foram: a compatibilidade com a nova arquitectura instalada; permitir a ligação de sensores de distância, para a detecção de obstáculos; capacidade de processar os dados dos sensores e comunicação bidireccional com o computador através de uma porta série. Neste capítulo são abordadas todas as escolhas feitas em relação ao desenvolvimento do novo hardware e a sua integração no robô.

3.1 Escolha dos Sensores

Em aplicações de segurança como são os sistemas de anti-colisão, a detecção de obstáculos e/ou pessoas é de extrema importância. Sendo assim, a escolha dos sensores deve ser favorável aos que tenham uma área ou volume de detecção maior. Como um dos requisitos deste trabalho passa também por manter o custo o mais baixo possível, foram logo de início descartados sensores laser, devido ao seu preço bastante elevado. Foram assim analisados sensores de baixo custo, baseados em ultra-sons e em infravermelhos, ambos disponíveis no Laboratório de Automação e Robótica.

Após uma análise sobre as características destes dois tipos de sensores, quais os seus pontos fortes e fracos, a escolha recaiu sobre os sensores de ultra-sons. Os sensores de infravermelho têm uma zona de detecção limitada, pois apenas emitem um feixe simples. Para além disso têm mais dificuldades em detectar vidro e têm um alcance inferior. Os sensores de ultra-sons têm uma zona de detecção 3D muito maior, permitem detectar objectos de vidro e possuem também em geral um alcance maior.

3.1.1 Modelo

O sensor de ultra-sons escolhido, foi o modelo *LV-MaxSonar-EZ0* da marca *MaxBotix* [17], Figura 3.1. Esta marca possui uma gama muito alargada de sensores, para várias aplicações e ambientes. Foi seleccionado o modelo *EZ-0* por ser compacto e fácil de utilizar, em que temos num único pacote, o emissor, receptor e um microcontrolador responsável pelo funcionamento das diversas interfaces de comunicação. Para além disso, é económico e é, nesta gama, o sensor com o feixe de emissão de ultra-sons mais alargado, o que o torna ideal na detecção de obstáculos.



Figura 3.1: Sensor de ultra-sons LV-MaxSonar-EZ0 da MaxBotix. [17]

3.1.2 Características

O sensor emite ultra-sons com uma frequência de 42 KHz. É capaz de detectar objectos de 0 a 254 polegadas (6,452 m) e é capaz de medir distâncias entre 6 e 254 polegadas (0,152 a 6,452 m), com uma resolução de uma polegada (0,0254 m). Disponibiliza medidas novas a cada 50 milissegundos o que corresponde a uma taxa de funcionamento de 20 Hz e pode ser alimentado com tensões de 2,5 a 5 V. As interfaces disponíveis incluem: PWM, tensão analógica e RS232. Tendo em conta que a porta RS232 do microcontrolador é utilizada para a comunicação com o computador, apenas ficam disponíveis como possíveis interfaces de aquisição de dados, o sinal PWM e a tensão analógica. Optou-se por utilizar a aquisição da tensão analógica, por ser mais fácil de adquirir com o microcontrolador. A resolução mínima da tensão analógica fornecida pelo sensor é dada pela equação 1. Como a tensão de alimentação (V_{cc}) é de 5 V, a resolução é de 9,8 mV e a tensão para a distância máxima de 254 polegadas será de 2,48 V.

$$\text{Resolução da tensão analógica} = \frac{(V_{cc}/512)}{\text{polegada}} \quad (1)$$

3.2 Testes em placa branca

Após a escolha dos sensores, foi necessário seleccionar qual o microcontrolador a utilizar na aquisição dos dados e na comunicação com o computador. Tendo em conta que ambas as placas de controlo do robô possuem o mesmo microcontrolador, o 18F258 da *Microchip*, e que este possui as características pretendidas, optou-se por utilizar o mesmo modelo, Figura 3.2.

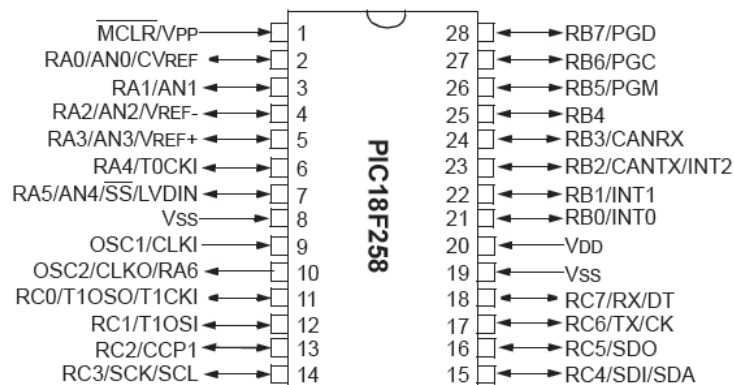


Figura 3.2: Microcontrolador 18F258 da *Microchip*.

Antes de iniciar o desenvolvimento da placa de circuito impresso, foi montado um pequeno *setup* em placa branca, de modo a poder validar o funcionamento dos componentes em conjunto com um sensor. Nesta montagem, o microcontrolador adquiria a tensão analógica de um sensor e enviava o valor da distância através da porta série para o computador.

Mais tarde foram utilizados três sensores para verificar como funcionavam em conjunto. Verificou-se que os sensores, a funcionar em modo livre, interferiam entre si o que tornava os dados de distância inutilizáveis. Este problema é intrínseco ao modo de funcionamento do sensor. O seu modo de funcionamento pode ser dividido em 3 etapas. Na primeira etapa funciona como emissor, emitindo um feixe de ultra-sons. Na segunda, funciona como receptor e fica à espera do sinal que será possivelmente reflectido num obstáculo. Na última fase, depois de detectar o eco do seu sinal utiliza a diferença de tempo entre o envio e a recepção para calcular a distância ao obstáculo reflector. Ao ter vários sensores a funcionar ao mesmo tempo, não é garantido que um sensor receba o eco do sinal de ultra-sons que ele próprio enviou, podendo receber o eco do sinal enviado por outros. Este é um problema grave e que invalida os dados de distância obtidos. De modo a evitar este problema, os sensores não podem funcionar em simultâneo, apontados na mesma direcção. Sendo assim, e visto que serão colocados na frente do robô, pelo menos 3 sensores, foi aplicado um modo de funcionamento que permitissem aos sensores funcionar correctamente.

3.3 Modo de funcionamento em Série

O modo de funcionamento aplicado para evitar interferência entre os sensores é descrito pelo fabricante e designa-se por “*Daisy Chaining with Constantly Looping*”. Para funcionarem deste modo, os sensores devem ser ligados entre si através dos pinos TX e RX, Figura 3.3, ficando assim a funcionar de modo contínuo e sequencial. O último sensor a medir a distância, envia um sinal para o sensor seguinte através do pino TX, avisando-o que é a sua vez de adquirir uma distância e assim sucessivamente. A ordem de inicialização (*kick start*) deste modo de funcionamento deve ser dada externamente, sendo usado um pino do microcontrolador para esse efeito. Essa ordem consiste em levar 5 V ao pino RX do primeiro sensor da série durante mais de 20 microsegundos (μs) e de seguida retornar o pino do microcontrolador a um estado de alta impedância, definindo-o como entrada.

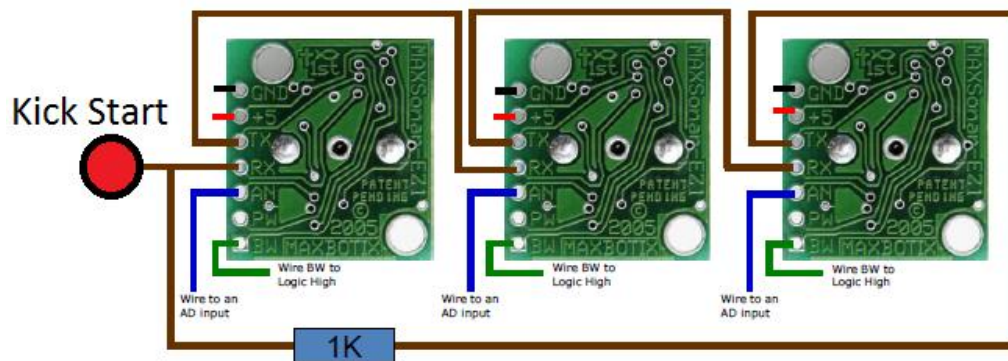


Figura 3.3: Ligação entre sensores para funcionamento em série. [17]

Este método permite ligar um número ilimitado de sensores, sem que exista interferência entre eles. No entanto, e tendo em conta que os sensores funcionam a uma taxa de 20 Hz, ou seja, demoram 50 ms para obter uma nova medida, quantos mais sensores forem introduzidos na série menor será a taxa de funcionamento de cada um, equação 2. Sendo assim terá que haver sempre um compromisso entre o número de sensores a utilizar e a taxa de funcionamento dos mesmos.

$$\text{Taxa de funcionamento} = \frac{20 \text{ Hz}}{n^{\circ} \text{ sensores}} \quad (2)$$

3.4 Placa de ligação e controlo dos Sensores de Ultra-sons

Após validado o conceito em placa branca, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso que permitisse a ligação e o controlo dos sensores ultra-sons. Foi desenvolvida de modo a ser compatível com a arquitectura actual, tendo por isso que obedecer a restrições de dimensão de modo a poder ser integrada na placa mãe, e possuir um conector adequado para fazer essa ligação. Os componentes foram organizados de modo a ocupar o menor espaço possível, para poupar material e assim ficar mais económico o fabrico da placa. Para além dos componentes necessários à ligação e controlo dos sensores de ultra-sons, foram também incluídos nesta placa, alguns componentes comuns a maioria das placas:

- Regulador de tensão *LM317*, para converter 12 V para 5 V;
- Potenciómetro associado ao regulador de tensão (entre o “*Vout*” e o “*Adjust*”) para poder variar a tensão de saída do regulador;
- Botão para efectuar *reset* ao microcontrolador;
- “*LED*” de indicação do *reset* feito ao microcontrolador;
- “*LEDS*” de sinalização da presença de 5 e 12 V;
- Conector “*Molex*” de 2 pinos para alimentação externa da placa, alternativa a alimentação através da placa mãe.

Para efectuar a ligação dos sensores à placa, foram escolhidos conectores de 10 pinos. Apesar de os sensores possuírem apenas 7 vias, estes conectores eram os mais adequados pois os encaixes permitem a utilização de “*flat cable*”, que vai ser utilizado na ligação. Optou-se por incluir apenas cinco conectores na placa pois corresponde ao número máximo de entradas analógicas presentes no microcontrolador. Esta limitação de entradas podia ser ultrapassada com a utilização de um “*Multiplexer*”, mas optou-se por não complicar desnecessariamente a placa, pois a utilização de mais do que 5 sensores é pouco provável. Existe ainda a possibilidade de ligação de sensores mais simples de infravermelhos na placa de ligação dos sensores, que introduzida na substituição da electrónica.

O esquema eléctrico, Figura 3.4, e o desenho do PCB (“*Printed Circuit Board*”) da placa foram ambos efectuados no software *Eagle*. Devido à quantidade de componentes e de ligações foi necessário recorrer a duas camadas de circuitos, Figura 3.5.

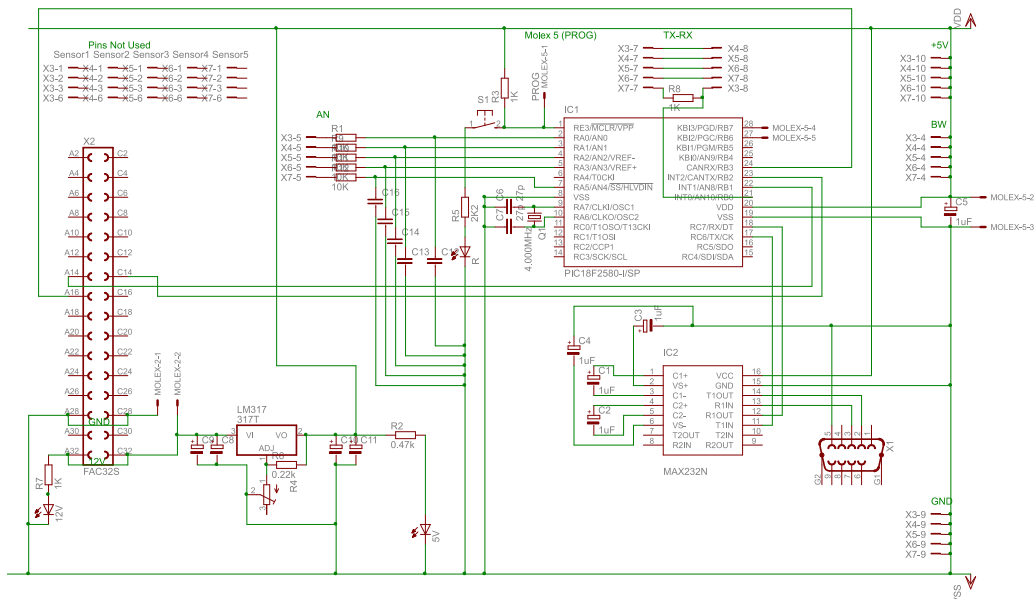


Figura 3.4: Esquema eléctrico da placa de ligação e controlo dos sensores de ultra-sons.

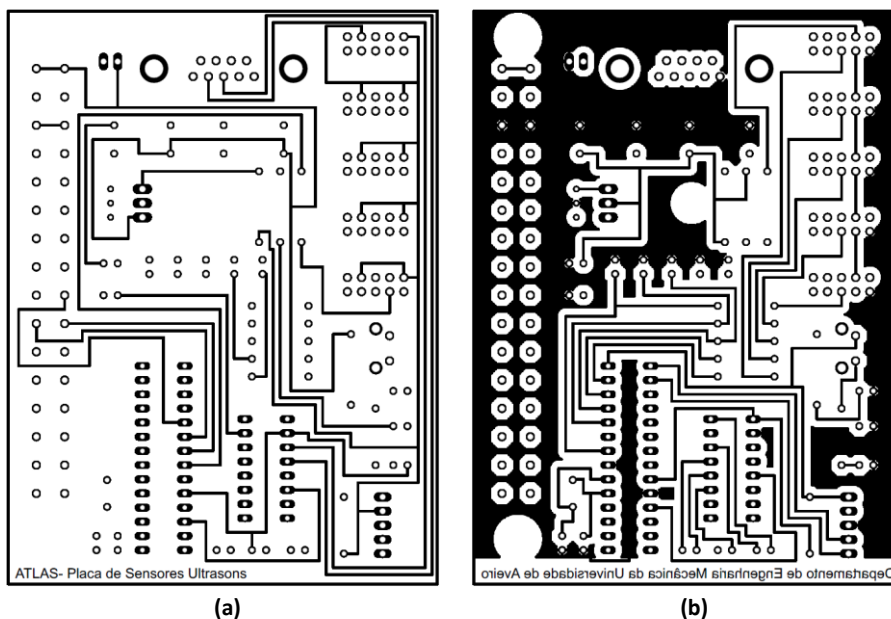


Figura 3.5: PCB da placa de ligação e controlo dos sensores de ultra-sons. (a) Camada de cima; (b) Camada de baixo.

A placa produzida, representada na Figura 3.6, apresenta algumas limitações de precisão dimensional e os furos não são metalizados. Isto obrigou a que os componentes com ligação a pistas nas duas camadas fossem soldados em ambos os lados da placa, processo bastante delicado para certos componentes. Durante a produção da placa, duas pistas ficaram danificadas

e tiveram que ser reparadas recorrendo a dois fios de cobre, Figura 3.6 (b). Ao efectuar os primeiros testes ao funcionamento geral da placa, foi detectado um pequeno erro que consistia na ausência de uma pista que ligava o microcontrolador ao “max232” e foi resolvido fazendo a ligação com um pequeno fio de cobre, Figura 3.6 (b).

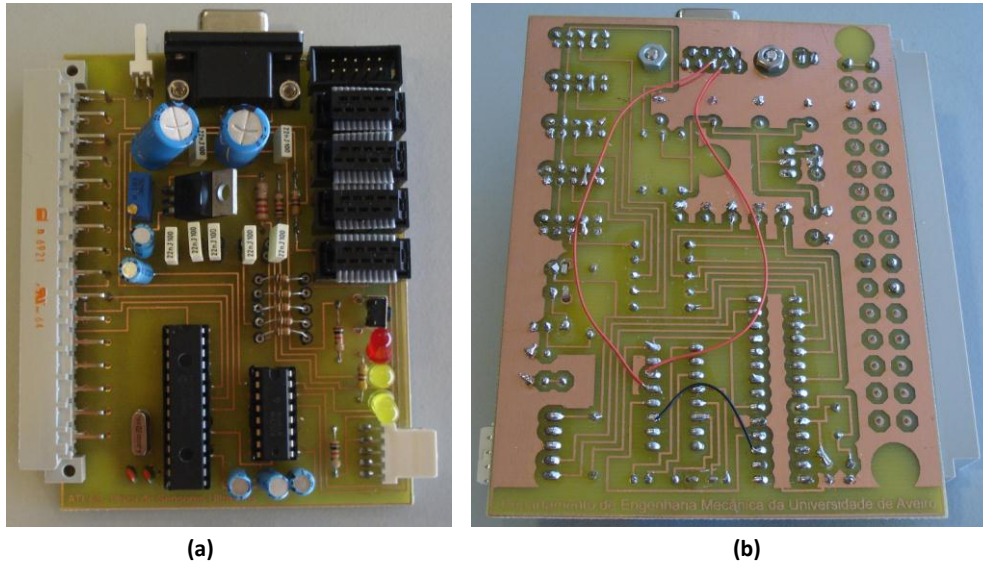


Figura 3.6: Placa em circuito impresso de ligação e controlo dos sensores ultra-sons.
(a) Vista de cima; (b) Vista de baixo.

A placa foi pensada de modo a ter os cinco sensores em série, permitindo assim orientá-los em qualquer direcção sem que ocorresse interferência entre eles. No entanto, quando estivessem os 5 sensores ligados a taxa de funcionamento de cada um seria de apenas 4 Hz (equação 1). Sendo assim foi decidido utilizar apenas 3 sensores na frente do robô para serem utilizados nos sistemas de segurança a desenvolver. Foram feitas alterações na placa para retirar da série 2 sensores, ficando a funcionar em modo livre e contínuo. A taxa de funcionamento de cada sensor da série passou assim para ~ 7 Hz.

Para efectuar a ligação dos sensores desde o local onde serão colocados até à placa de ligação e controlo, foi necessário fazer cabos que satisfizessem as ligações nas duas extremidades. Para a ligação aos sensores é necessário, um conector que possua 7 vias em linha, e para a ligação na placa é preciso um conector de 10 pinos. Os cabos desenvolvidos estão ilustrados na Figura 3.7 e o seu comprimento é sensivelmente igual ao comprimento do robô.

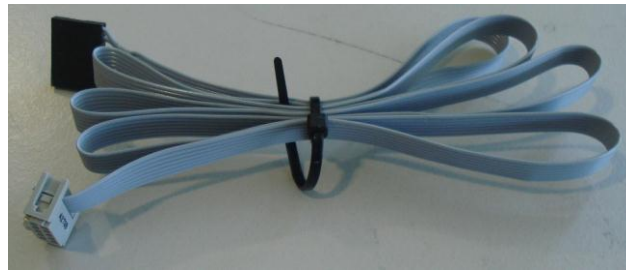


Figura 3.7: Cabo para ligação dos sensores de ultra-sons à placa de controlo.

Para além destes cabos, foram também alterados alguns conectores de 10 pinos que podem ser vistos na Figura 3.6 (a), encaixados na placa. Estes conectores apenas efectuam a ligação entre o pino TX e RX no encaixe da placa, permitindo que o sinal que sincroniza os sensores em série passe de um sensor para o próximo, mesmo quando não estão os 3 sensores ligados.

3.5 Programação do microcontrolador

A programação do microcontrolador foi efectuada de acordo com as funções desejadas, que são em linhas gerais: adquirir as tensões analógicas dos sensores, convertê-las, e enviar o valor das distâncias para o computador.

Na conversão analógica para digital a tensão de referência é a alimentação de entrada, ou seja os 5 V. O resultado desta conversão é dado em 10 bits (de 0 a 1023 em decimal), distribuídos por dois registos (2 *bytes*) na memória do microcontrolador. No entanto, como a tensão dos sensores apenas varia entre 0 e 2,48 V, quando alimentados a 5 V, da conversão apenas resultam 9 bits úteis. Desses 9 bits são considerados apenas os 8 bits mais significativos e assumidos como sendo a distância em polegadas. Tendo em conta que a variação da distância em polegadas dada pelo sensor, de 0 a 254, corresponde aproximadamente à representação de um byte, esta associação é perfeitamente válida. Ao desprezar o bit menos significativo de um conjunto de 9 bits o erro é de $\pm 0,00489 V$, que corresponde sensivelmente a meia polegada.

O programa foi dividido em dois ciclos, um de conversão e outro de envio. Estes ciclos funcionam paralelamente e são regulados pelos “*interrupts*” gerados por dois *timers* do microcontrolador. As suas taxas de funcionamento são facilmente alteradas utilizando apenas duas variáveis que definem o número de iterações por segundo de cada ciclo.

No ciclo de conversão, a tensão presente numa determinada porta analógica (RA_x) do microcontrolador é convertida e o seu valor, depois de verificado, é guardado numa variável

correspondente ao sensor em causa. Na próxima iteração será convertida a tensão analógica da porta seguinte (RA_{x+1}) e assim sucessivamente. Chegando à porta RA4 passa novamente para a RA0.

Este ciclo é independente do ciclo de envio e a sua taxa de funcionamento é definida em número de conversões por segundo por sensor. Tendo em conta que os sensores a colocar na frente do robô estão ligados em série e que a sua taxa de funcionamento é de 7 Hz, o ciclo de aquisição não necessita de funcionar a uma taxa superior, pois esses sensores não irão ter medidas novas. No entanto, e como só é possível converter uma tensão analógica de cada vez, a taxa de funcionamento real deste ciclo é o número de sensores ligados vezes os 7 Hz obtidos pela limitação da série dos três sensores da frente.

O ciclo de envio define qual a taxa a que as distâncias obtidas através dos sensores são enviadas pela porta série para o computador. Tal como no ciclo de aquisição, a taxa de funcionamento é definida recorrendo a uma variável à qual corresponde o número de vezes que o programa envia por segundo. O envio da informação obedece a um simples protocolo que se passa a explicar de seguida.

A mensagem enviada pelo microcontrolador, Figura 3.8, é de tamanho variável e depende do número de sensores ligados. Começa com um byte de início de mensagem, para indicar ao receptor que se está a iniciar uma mensagem nova. Foi escolhido o byte 11111111 (0xFF em hexadecimal e 255 em decimal) e é garantido que mais nenhum byte seguinte assume este valor. De seguida é enviado um byte de informação, que permite saber quantos sensores estão ligados e qual o seu tipo. Pode também servir para identificar quais as unidades das distâncias enviadas, mas não é utilizado de momento. Os bytes seguintes correspondem às medidas de distância lidas de cada sensor e o seu número é variável com o número de sensores ligados.

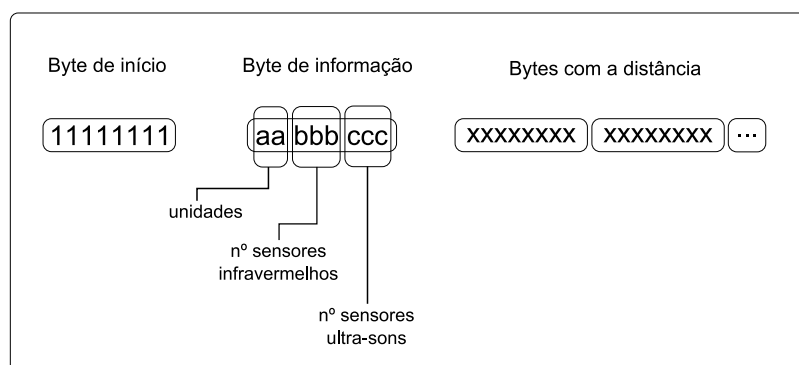


Figura 3.8: Protocolo de envio de mensagens da placa de ultra-sons.

O microcontrolador também pode receber mensagens do computador que permitem alterar o seu modo de funcionamento, nomeadamente o modo de envio e o estado do sistema de emergência. Em baixo, na Figura 3.9, apresenta-se uma tabela com as mensagens que o microcontrolador reconhece. Toda a parte da programação do microcontrolador que diz respeito ao sistema de emergência está descrita em detalhe no capítulo 4.

Mensagens aceites pelo Microcontrolador dos Ultra-sons			
1xxxxxxx		0xxxxxxx	
Modo de envio		Activação do Sistema de Emergência	
xxxxxxx = 0	Não envia	xxxxxxx = 0	Desactivar
xxxxxxx = 1	Envia apenas uma mensagem de medidas	xxxxxxx = 1	Activar
xxxxxxx = 2	Envia mensagens de medidas em contínuo		

Figura 3.9: Mensagens aceites pelo microcontrolador dos ultra-sons.

3.6 Dados Adquiridos

De forma a aferir a qualidade dos dados obtidos dos sensores, foi efectuado um simples teste. Foram colocados 3 sensores apontados na mesma direcção a uma altura de 70 cm (altura de uma mesa) e espaçados entre si por 10 cm. De seguida, foi colocado um obstáculo posicionado a várias distâncias dos sensores e foram gravados em ficheiro os valores de distância que chegavam ao computador através da porta série. Na Figura 3.10 estão representados os gráficos para os três sensores com um obstáculo a 74 cm.

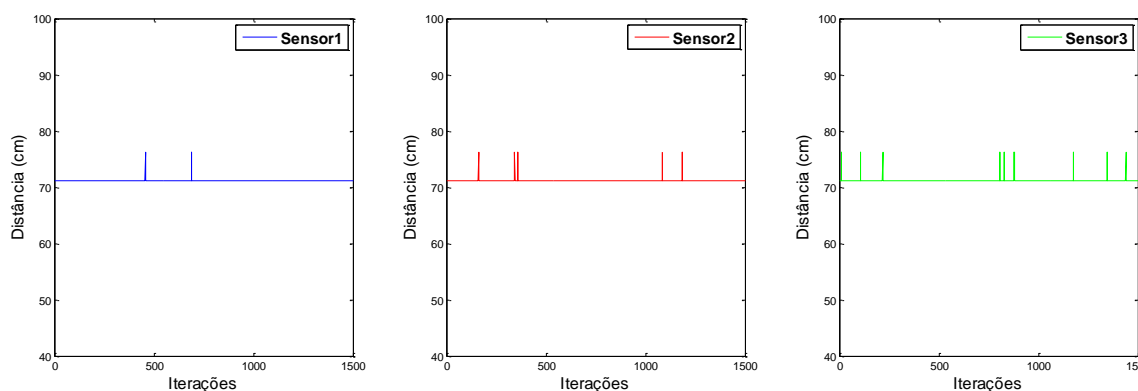


Figura 3.10: Medições dos 3 sensores para um obstáculo a 74 cm de distância.

O comportamento dos três sensores é bastante semelhante, apresentando medidas coerentes. O valor dominante é de 71,12 cm aparecendo por vezes picos de 76,2 cm ou, mais raramente, de 73,66 cm o que coloca as oscilações numa gama de duas polegadas. Na altura em que os dados foram obtidos, o programa do microcontrolador estava a utilizar os oito bits mais significativos dos 10 bits resultantes da conversão. No entanto, a tensão analógica máxima dada pelo sensor é de 2,48 V e a conversão apenas dá 9 bits válidos. Sendo assim apenas estavam a ser aproveitados os 7 bits mais significativos de um valor de 9 bits. Ao desprezar esses 2 bits estavam a ser desprezados $\pm 0,01957$ V, que correspondem a $\pm 1,9$ polegada.

Foram também efectuados testes com o obstáculo em movimento entre três posições distintas. Os dados obtidos estão representados nos gráficos da Figura 3.11. Tal como nos gráficos anteriores, o ruído mais frequente ocorre numa gama de apenas duas polegadas. Estas ocorrências não são muito frequentes e deverá ser fácil atenuá-las ou retirá-las mais tarde recorrendo a filtros de média ou mediana.

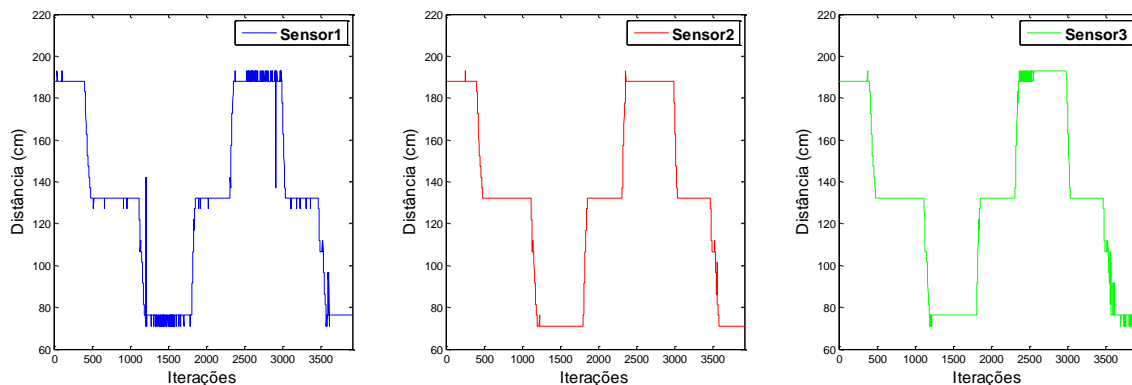


Figura 3.11: Medições dos 3 sensores para um obstáculo em movimento entre 3 posições.

3.7 Posicionamento dos sensores no robô

O posicionamento dos sensores no robô é de extrema importância pois vai influenciar a forma como os sistemas de segurança irão funcionar. Sendo o objectivo desenvolver dois sistemas distintos, um de baixo nível, anti-colisão, e outro de alto nível para auxílio à navegação, o posicionamento deve ser feito de modo a satisfazer os requisitos de ambos.

Tendo em conta que o robô se desloca na maior parte do tempo para a frente, o posicionamento dos sensores deve ser feito nessa direcção. Optou-se por colocar os três sensores que funcionam em série, na parte da frente do robô: um no centro, e dois nas extremidades a

apontarem para o exterior, representados na Figura 3.12 pelos números 2, 1 e 3, respectivamente. Foram também colocados outros dois sensores na parte lateral do robô, apontados para direcções opostas, representados na Figura 3.12 pelos números 4 e 5. Estes sensores, embora ainda não utilizados, poderão mais tarde vir a dar informações importantes na ultrapassagem de obstáculos.

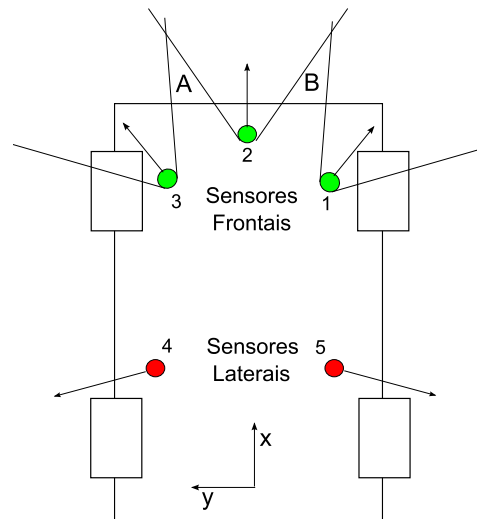
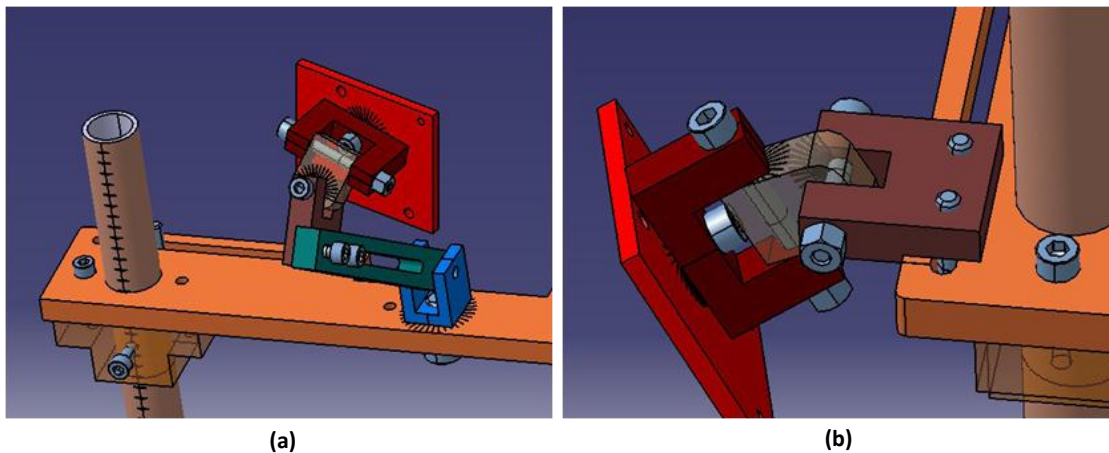


Figura 3.12: Posicionamento dos sensores de ultra-sons no robô.

Como suporte dos sensores frontais foi utilizada uma estrutura semelhante à utilizada para as câmaras. É constituída por uma plataforma em acrílico que encaixa nos dois postes de alumínio existentes no robô, Figura 3.13 (a), e é regulável em altura. Nesta plataforma são depois aparafusados suportes nos quais são fixadas as câmaras, permitindo orientações em 3D. Esta estrutura foi desenvolvida no âmbito de uma dissertação no DEM no ano de 2008/2009 [18].



(a)

(b)

Figura 3.13: Estrutura e suportes para fixação das câmaras. [18]
(a) Suporte central; (b) Suporte Lateral.

Os suportes que permitem as rotações são constituídos por 4 peças distintas aparafusadas entre si, Figura 3.13 (b), e tiveram que ser desenhadas, fazendo as alterações necessárias na placa de fixação, de modo a que os furos fossem compatíveis com os existentes nos sensores. Foi também desenhada uma peça de extensão e uma peça em alumínio para fixar a extensão à plataforma base, Figura 3.13 (a), para que deste modo fosse possível colocar o sensor central numa posição conveniente sem que ficasse obstruído. Todas as peças foram maquinadas nas oficinas do DEM em quantidades suficientes para construir 5 suportes, Figura 3.14.

Nos sensores laterais foram usados os mesmos suportes, fixados na caixa de suporte das placas electrónicas. Nesta caixa foram feitos os furos necessários e os suportes foram aparafusados, Figura 3.15.

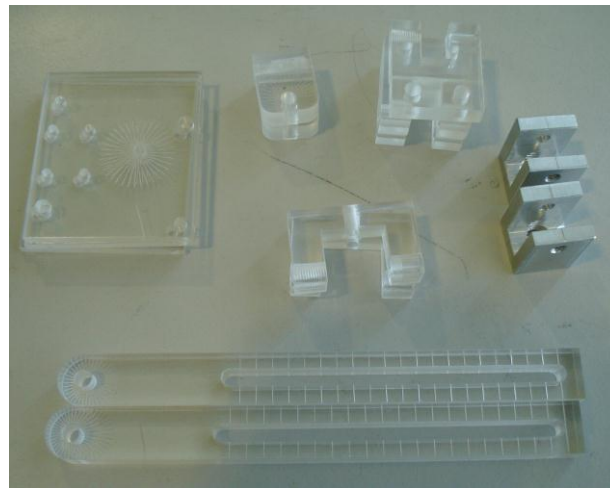


Figura 3.14: Peças maquinadas para os suportes dos sensores de ultra-sons.

Através deste sistema de suporte, os sensores podem ser configurados de diversas formas. Sendo assim, foram adoptados alguns requisitos de forma a simplificar o processo de posicionamento. Os requisitos foram os seguintes:

- Os três sensores frontais devem cobrir a maior área possível;
- Ter um objecto de 2,5 cm de espessura, p.e. uma perna de uma mesa, a uma distância de 15 cm do robô e ser detectado pelo menos por um sensor;
- Não devem detectar irregularidades do solo, que sejam suficientemente pequenas para serem ultrapassadas.

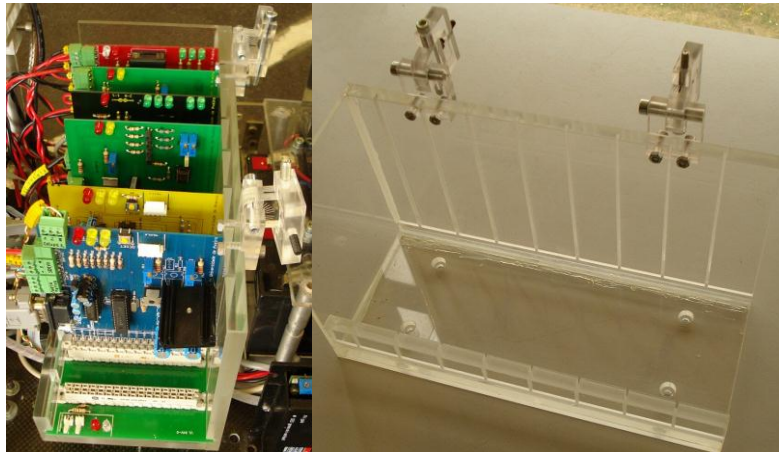


Figura 3.15: Alteração na caixa de suporte das placas para colocação dos suportes dos sensores de ultra-sons.

De modo a conseguir abranger a maior área possível com os 3 sensores frontais foram colocados obstáculos de pequena espessura nos limites da zona de detecção do sensor central. Ajustaram-se de seguida os sensores laterais para que também detectassem cada um o obstáculo mais próximo, ficando assim abrangida toda a área à frente do robô. Todos os sensores foram ainda inclinados ligeiramente para cima, de modo a não serem influenciados pelas irregularidades no solo ou objectos muito pequenos, que não causam impedimentos na locomoção do robô.

Tendo sido os sensores colocados de modo a cumprir os requisitos mencionados, foram efectuados testes para garantir que eram cumpridos. Um dos testes efectuados consistiu em movimentar horizontalmente uma barra vertical com 2,5 cm de espessura e 70 cm de comprimento, segundo uma linha paralela ao pára-choques do robô a uma distância de 15 cm, Figura 3.16 (a). Como se pode ver pelo gráfico da Figura 3.17, quando a barra deixa a área abrangida por um sensor, já está dentro da área abrangida por outro. Esta experiência garante que a 15 cm do robô toda a área à sua frente se encontra abrangida por pelo menos um dos sensores.

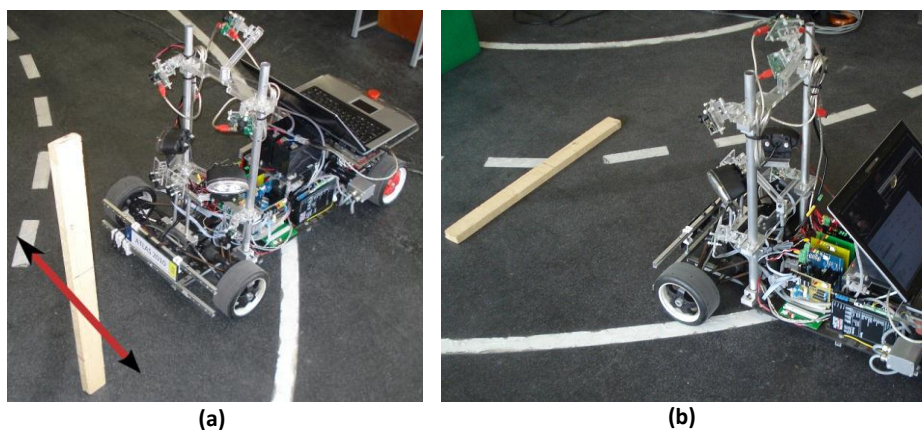


Figura 3.16: Testes efectuados para validar o posicionamento dos sensores.
(a) Barra vertical; (b) Barra na horizontal.

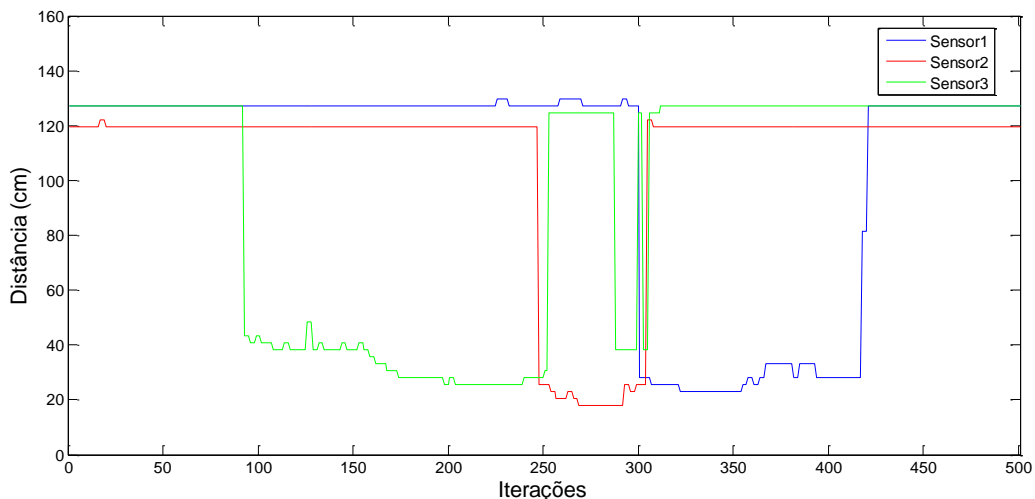


Figura 3.17: Medições dos 3 sensores frontais ao deslocar uma barra de 2,5 cm de espessura a 15 cm de distância do robô.

Outro dos testes realizados consistiu em movimentar o robô em direcção à mesma barra de 2,5 cm de espessura, mas neste caso colocada no pavimento, paralela ao pára-choques do robô, Figura 3.16 (b). Teve como objectivo descobrir qual a distância limite em que o obstáculo deixa de estar numa zona de detecção e passa a estar numa zona de não detecção. Os gráficos resultantes podem ser vistos na Figura 3.18, e é possível concluir que até uma distância de sensivelmente 40 cm, o objecto é detectado, passando depois para uma zona não abrangida pelos sensores.

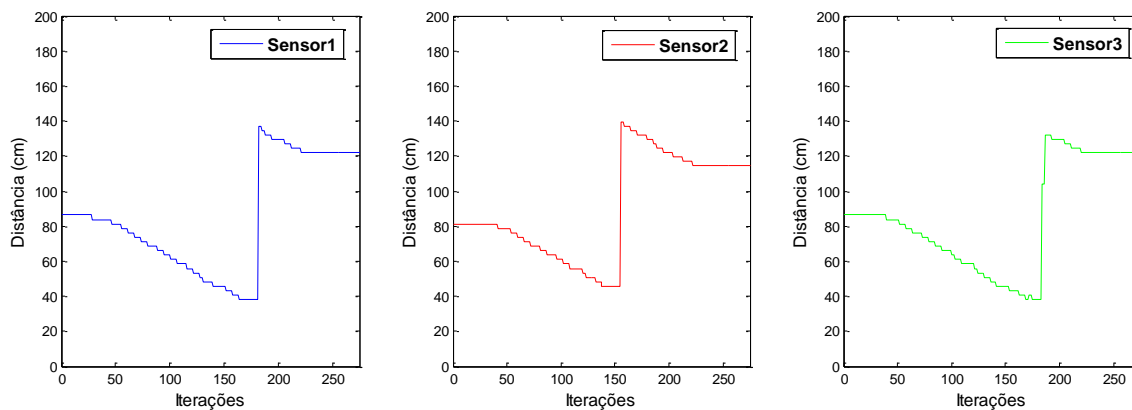


Figura 3.18: Medidas dos 3 sensores frontais com uma barra de 2,5 cm de altura colocada no pavimento.

4 Sistemas de segurança desenvolvidos

Após ter o hardware concluído e validado, deu-se início ao desenvolvimento dos sistemas de segurança. O sistema de emergência anti-colisão é um sistema de baixo nível e foi por isso implementado nos microcontroladores, da placa de controlo dos ultra-sons e da placa de controlo dos motores. O sistema de auxílio à navegação é um sistema de alto nível e foi desenvolvido em Linux, utilizando a linguagem C. Foi desenvolvido segundo a filosofia do *Carmen*, ou seja, foram desenvolvidos módulos que comunicam entre si através do *IPC*. Ambos os sistemas foram desenvolvidos para serem utilizados sobretudo com o robô em modo de condução manual e têm como objectivo tornar o robô mais seguro evitando danos em si próprio e no ambiente que o rodeia.

4.1 Sistema De Emergência Anti-colisão

O sistema de emergência anti-colisão evita que o robô colida com obstáculos que se encontrem no seu caminho, imobilizando o robô mesmo quando este recebe ordens do computador central para se movimentar. Como um dos requisitos do sistema era ser de baixo nível, foi apenas implementado nas placas electrónicas, o que o torna mais rápido e imune a problemas que possam ocorrer no computador.

É na placa de controlo dos sensores de ultra-sons que é verificado, constantemente, o risco de colisão e definida uma emergência. A placa comunica depois com a placa de controlo dos motores dando indicações para que reduza a velocidade ou imobilize o robô, dependendo do tipo de emergência. A ligação entre as duas placas foi efectuada unindo 3 pinos do microcontrolador da placa dos ultra-sons a 3 pinos do microcontrolador da placa dos motores, Figura 4.1, utilizando as pistas na placa mãe. Através da via E, é enviado um impulso eléctrico sempre que o estado de emergência detectado for diferente do definido na iteração anterior. A placa dos motores ao receber esse impulso vai verificar o estado das vias S1 e S2 de modo a identificar qual a emergência em causa.

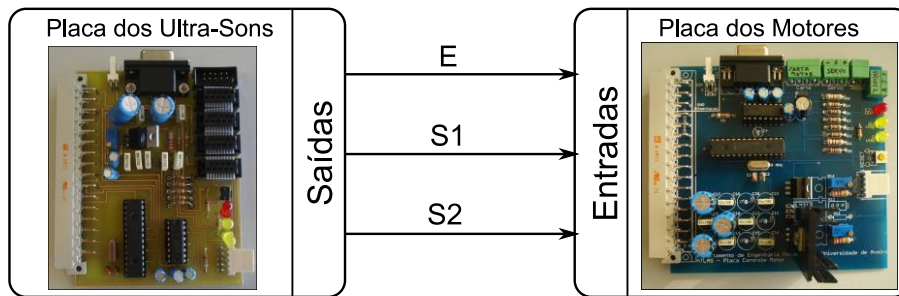


Figura 4.1: Comunicação unidireccional entre a placa dos ultra-sons e a placa dos motores.

Apesar de ser possível definir 4 estados de emergência distintos com 2 vias, apenas foram definidos 3. Na tabela da Figura 4.2, estão representados os estados de emergência adoptados, uma breve descrição e a codificação eléctrica das vias S1 e S2 para o envio entre as placas.

Emergências	S1 (V)	S2 (V)	Descrição
Emergência 0	0	0	Não existe risco de colisão.
Emergência 1	5	0	Existe risco de uma possível colisão, o robô deverá abrandar.
Emergência 2	0	5	Existe risco imediato de colisão, o robô deverá parar.

Figura 4.2: Emergências existentes, descrição e codificação eléctrica.

A placa dos ultra-sons atribui um estado de emergência a cada sensor, baseando-se na distância que este mede, Figura 4.3. Envia depois para a placa dos motores o estado de emergência detectado de maior valor. Ou seja, caso o sensor 1 indique que existe uma emergência do tipo 1 e o sensor 2 indique que existe uma emergência do tipo 2, será enviada para a placa de controlo dos motores a emergência do tipo 2 que é a mais restritiva. Isto, caso a emergência detectada anteriormente não tiver sido a emergência do tipo 2, caso contrário, não haverá necessidade de enviar o mesmo estado de emergência para a placa dos motores, pois já estará activo.

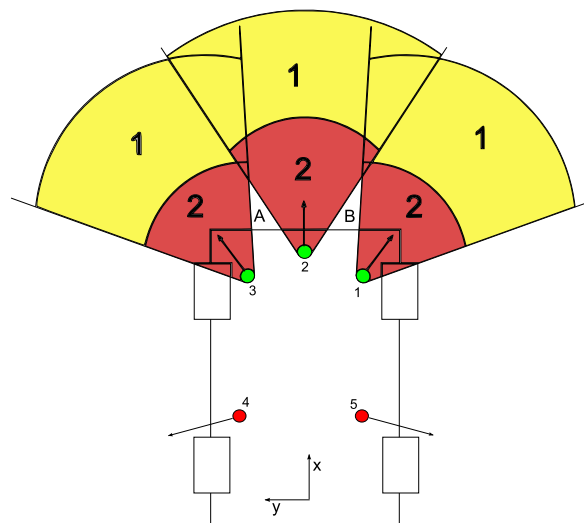


Figura 4.3: Representação das zonas de emergência para cada um dos sensores frontais.

As distâncias de activação das emergências não são iguais em todos os sensores, como se pode ver pela tabela da Figura 4.4. Para os sensores 1 e 3, como a distância obtida pode corresponder a um objecto situado à frente do robô ou ao lado, não existindo dados suficientes para fazer a distinção, foram adoptadas distâncias menores para activar as emergências. Apesar de diminuir a probabilidade das emergências geradas por estes sensores evitarem colisões, evita-se também que o robô pare por causa de obstáculos que estejam ao seu lado e não à sua frente.

Emergências	Distâncias de Activação (cm)		Restrições
	Sensores 1 e 3	Sensor 2	
Tipo 0	>40	>160	Nenhuma
Tipo 1	≥ 20 e ≤ 40	≥ 50 e ≤ 160	Limita a velocidade a 60
Tipo 2	<20	<50	Imobiliza o robô e aceita apenas movimentos de marcha-a-trás

Figura 4.4: Condições de activação das emergências nos sensores frontais e restrições aplicadas em cada uma.

A maioria das distâncias para activação das emergências nos sensores frontais foram obtidas experimentalmente. Para os sensores 1 e 3 foram definidas distâncias que possibilitassem a passagem do robô a 15 cm de obstáculos, Figura 4.5. Para o sensor 2, definiu-se que a emergência do tipo 2 deveria imobilizar o robô a 50 cm de um obstáculo, isto porque, caso o obstáculo seja da

mesma largura do robô, mesmo que este vire completamente não se conseguirá desviar, Figura 4.5.

Quando a emergência do tipo 1 está activa, as ordens de velocidade recebidas pela placa dos motores serão todas limitadas à velocidade de 60. Como a placa dos ultra-sons não possui informação sobre a velocidade do robô, foi necessário definir um tipo de emergência que reduzisse a velocidade, pois é garantido que com uma velocidade de 60 o robô consegue parar antes de atingir o obstáculo a 50 cm. Caso a placa possuísse essa informação, poderia haver apenas o estado de emergência e o de não emergência. Nesse caso a distância que causa a emergência poderia ser variável com a velocidade do robô. Seria maior para velocidades maiores e menor para velocidades menores.

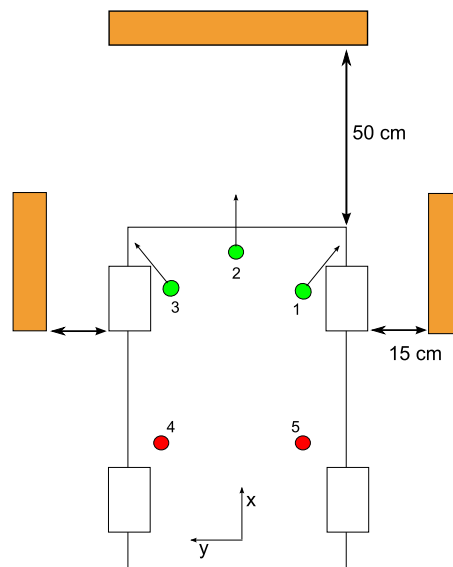


Figura 4.5: Distâncias de activação da emergência de tipo 2, que imobiliza o robô.

4.1.1 Programação dos microcontroladores

No microcontrolador da placa dos ultra-sons, foram feitas alterações para que as distâncias lidas dos sensores frontais fossem monitorizadas, de modo a atribuir um estado de emergência a cada sensor. Esse estado depende da distância que o sensor esteja a medir, como foi mencionado anteriormente, sendo comparado com valores definidos no programa como limites para a activação das emergências. Estes valores são facilmente alterados caso seja necessário alterar o comportamento do sistema.

O estado de emergência global corresponde ao estado de emergência de maior valor atribuído individualmente aos sensores. Caso esse estado de emergência seja diferente do

encontrado na iteração anterior, essa informação será enviada para a placa dos motores, actualizando o estado de emergência guardado nessa placa. Para isso, a placa dos ultra-sons actualiza o estado das vias S1 e S2 e eleva a tensão da via E para 5 V e novamente para 0 V. O estado de emergência é enviado apenas quando muda em relação ao estado encontrado na iteração anterior, para evitar sobrecarregar o microcontrolador de controlo dos motores.

Foram também feitas as alterações necessárias na programação do microcontrolador de controlo dos motores para que este pudesse receber e interpretar os estados de emergência. Esta placa recebe uma ordem de emergência quando a via E passa de 0 V para 5 V. Nesta altura gera-se um “*interrupt*” no microcontrolador, interrompendo as tarefas que está a realizar para ir executar as instruções definidas para esta situação. Neste caso, vai verificar o estado das vias S1 e S2 e assim definir o estado de emergência correspondente.

Na emergência de tipo 1, sendo a velocidade restringida, as ordens de velocidade vindas do computador serão limitadas à velocidade de segurança definida. Com a emergência do tipo 2 activa, o microcontrolador dos motores rejeita ordens vindas do computador para se movimentar para a frente, aceitando apenas ordens para andar para trás. Quando a emergência deixa de existir, ou seja, quando o robô tem o espaço à sua frente livre, o estado de emergência é actualizado pela placa dos ultra-sons e a placa dos motores aceita novamente todas as ordens de movimento.

4.1.2 Testes e Resultados

Para testar o desempenho do sistema de anti-colisão foram realizados 10 ensaios para ordens de velocidade entre 50 e 100, em intervalos de 10. Os ensaios consistiram em fazer seguir o robô em trajectória recta contra um obstáculo colocado a sensivelmente 5 metros de distância. Para esse efeito, foi utilizado o *gamepad* e dada ordem para o robô avançar contra o obstáculo até que as emergências fossem activadas e o robô ficasse imóvel, apesar de ainda ter activa a ordem para avançar.

De modo a ter uma perspectiva sobre quais as velocidades reais correspondentes às ordens de velocidade pedidas ao robô nos ensaios, foram realizadas medições do tempo que o robô demorava a percorrer uma distância de 3 m. Dividindo essa distância pelo tempo medido obteve-se uma velocidade em *m/s* aproximada à velocidade real do robô.

Para a velocidade máxima, representada pelo valor 100 e correspondendo a uma velocidade real de 2,3 *m/s*, o sistema não se mostrou viável e assume-se que essa velocidade não é segura

para conduzir o robô em modo manual. Para as restantes velocidades os resultados foram em geral satisfatórios e podem ser vistos na tabela da Figura 4.6.

Ordem de Velocidade	Velocidade real (m/s)	Colisões	Distância Média ao Obstáculo (cm)	Desvio padrão (cm)
50	0,6	0/10	20,6	4,7
60	0,8	0/10	15,1	5,1
70	1,1	3/10	10,1	3,2
80	1,4	1/10	19,8	6,8
90	1,8	1/10	16,8	4,1

Figura 4.6: Resultados dos testes de anti-colisão.

Para ordens de velocidade entre 50 e 90, o robô consegue parar antes de atingir o obstáculo na maioria dos ensaios. As colisões detectadas correspondem a situações em que o robô se imobiliza muito próximo do obstáculo chegando a tocar neste, mas sem quaisquer danos e sem o empurrar. Isto deve-se ao facto de o travão ser accionado apenas quando a diferença entre a velocidade a que o robô se desloca, estimada através da leitura do canal I do *encoder* do motor, e a velocidade pedida, for superior a um determinado valor, calculado experimentalmente. Nos casos em que ocorreu uma ligeira colisão, o travão foi accionado momentaneamente antes de o robô estar a 50 cm do obstáculo, distância à qual é activada a emergência do tipo 2. Esta travagem antecipada pode ter sido provocada por alguma medida incorrecta lida de um dos sensores e resultou numa diminuição da velocidade do robô e consequente aceleração, visto que a ordem para avançar continuava activa. No entanto, ao chegar a 50 cm do obstáculo a sua velocidade não foi suficiente para activar novamente o travão, tendo o robô apenas parado de acelerar. Nesses casos a desaceleração não foi suficiente para evitar uma ligeira colisão com o obstáculo.

Para a velocidade máxima, a distância a partir da qual a emergência do tipo 1 é activada não é suficiente para haver uma redução de velocidade suficiente que impeça o robô de colidir contra o obstáculo. Para evitar esta situação seria necessário aumentar a distância de activação da emergência 1. No entanto, esse aumento ainda teria que ser significativo o que poderia provocar um comportamento instável no robô, pois, mesmo quando fosse a uma velocidade entre 70 e 90, abrandaria demasiado cedo, desnecessariamente.

A discrepância de resultados entre a velocidade máxima de 100 e a velocidade de 90 acontece devido à diferença significativa observada na velocidade real representada por estes dois valores. Conclui-se que a variação da velocidade não é linear, estando isto relacionado com os parâmetros

de controlo da carta *Maxon*. Esta carta possui software proprietário destinado a configurar diversas características na resposta do motor, não tendo sido no entanto explorado.

Apesar de os sensores laterais serem também capazes de criar os dois tipos de emergência, os limites para a sua activação são menores, para que seja possível ao robô passar relativamente perto de obstáculos sem que pare. Sendo assim, não se espera que as emergências causadas por estes sensores evitem colisões, podendo no entanto minimizar os seus efeitos imobilizando o robô assim que a distância seja inferior ao limite imposto.

4.2 Sistema de auxílio à navegação

O sistema de auxílio à navegação foi desenvolvido para actuar no modo de funcionamento manual do robô, em que este é controlado por um utilizador através de um *gamepad*. Tal como o sistema de emergência anti-colisão, tem como objectivo que o robô evite obstáculos, desviando-se deles, sem parar. Utilizando os dados dos sensores ultra-sons posicionados na frente do robô o sistema irá definir uma direcção de movimento para uma zona que esteja livre, quando é detectada uma zona obstruída no seu caminho. Todo o software foi desenvolvido em ambiente Linux, utilizando a linguagem C e seguindo a filosofia do *Carmen*.

A reestruturação electrónica efectuada, capítulo 2, tornou os dois robôs de condução autónoma do LAR bastante semelhantes em termos de arquitectura. Deste modo, o software existente no ATLAS MV para condução manual pode agora ser utilizado no ATLAS 2010 apenas com pequenas alterações. Para executar este modo de condução existem dois módulos desenvolvidos, o BASE e o GAMEPAD. O módulo GAMEPAD é responsável por fazer a ligação ao *gamepad*, detecta quais os botões que são pressionados e converte essa informação em mensagens de controlo que são enviadas para o BASE. O módulo BASE é o responsável por enviar para o hardware as ordens que recebe de outros módulos, como por exemplo, o GAMEPAD ou outros módulos que publiquem mensagens de controlo do mesmo tipo.

Adoptando a estrutura de software presente no ATLAS MV, que é totalmente baseada no *Carmen*, foram desenvolvidos 3 módulos, cada um pertencente a uma categoria diferente dentro dessa estrutura já definida. O primeiro módulo pertence à categoria “Sensors”, e é designado por ULTRASONIC, sendo responsável pela comunicação com a placa dos ultra-sons. O segundo módulo, designado por RCUD (Road Clearance using Ultrasonic Data), subscreve os dados publicados pelo módulo anterior e pertence à categoria “Perception”. O último módulo que foi desenvolvido é designado por UAN (Ultrasonic Assisted Navigation), subscreve as mensagens do RCUD e publica mensagens de controlo para o BASE. Pertence à categoria “Navigation”. Na Figura

4.7 está representado o fluxo de mensagens entre os módulos necessários para a condução manual, bem como os módulos desenvolvidos para o sistema de auxílio à navegação. De seguida é feita uma análise mais profunda das funções de cada módulo desenvolvido e quais as suas características mais importantes.

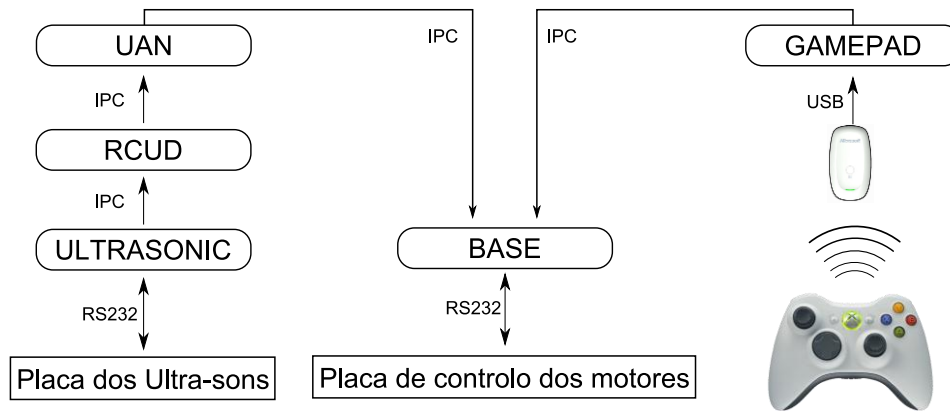


Figura 4.7: Fluxo de mensagens entre os diversos módulos utilizados na condução manual e no sistema de auxílio à navegação.

4.2.1 ULTRASONIC

Este módulo é responsável por fazer a ligação à placa dos ultra-sons, através da porta série e por tratar os dados recebidos, disponibilizando-os depois para outros módulos que necessitem dessa informação. Deste modo, os dados dos sensores ultra-sons ficam disponíveis não só para os módulos do sistema de auxílio a navegação, mas também para outros módulos que venham a ser desenvolvidos, podendo vir a ser útil na condução autónoma.

De modo a minimizar os efeitos do ruído presente nos dados de distância, optou-se por aplicar um filtro de média móvel. Para isso, são guardados os n elementos de distância mais recentes e o novo valor de distância será a média desses últimos n valores, equação 3.

$$d[i] = \frac{1}{n} \times \sum_{j=0}^{n-1} d[i-j] \quad (3)$$

O resultado da aplicação deste filtro para 10 elementos está representado nos gráficos da Figura 4.8. Apesar de suavizar as oscilações que podem ocorrer, este filtro provoca algum atraso nas medições, que será maior quanto maior for o número de elementos do filtro. No entanto, considera-se a aplicação do filtro importante e justificável em comparação com o pequeno atraso existente.

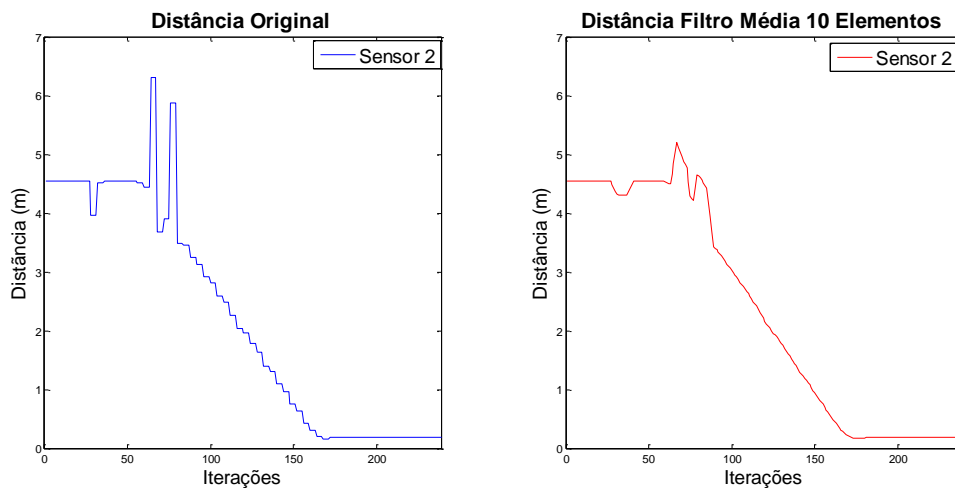


Figura 4.8: Gráficos de distância, sem tratamento e com filtro de média de 10 elementos.

As mensagens publicadas por este módulo estão representadas na Figura 4.9 em linguagem C, tal como foram definidas. São do tipo “*ultrasonic_data_message*” e possuem informação sobre o número de sensores, as distâncias originais adquiridas através da placa dos ultra-sons, e as distâncias filtradas utilizando o filtro de média móvel.

```

/** @struct ultrasonic_data_message
 * @brief Data from the ultrasonic sensors
 */
typedef struct {
    double timestamp;
    int n_sensors;
    double dist[10];
    double dist_filtered_mean[10];
    char *host;
} ultrasonic_data_message;

```

Figura 4.9: Mensagem publicada pelo módulo ULTRASONIC, com informações sobre os sensores de ultra-sons.

Os campos “*timestamp*” e “*host*” possuem informação de quando é que a mensagem foi enviada e qual o módulo que a enviou, respectivamente. A sua presença na estrutura da mensagem é essencial, pois são campos obrigatórios nas mensagens do IPC.

4.2.2 RCUD

Este módulo subscreve os dados publicados pelo módulo ULTRASONIC e define quais as zonas que estão livres e quais as zonas que estão obstruídas, mantendo assim um estado actualizado do caminho à frente do robô. Publica depois uma mensagem específica com essa informação que

mais uma vez pode ser utilizada não só por o módulo seguinte de auxílio à navegação, mas por qualquer outro que a subscreva. A mensagem publicada está representada na Figura 4.10, e as informações enviadas são: o número de direcções existentes; a distância lida para cada uma dessas direcções; a amplitude da zona correspondente a essa distância e a orientação. Na Figura 4.11, pode-se ver a representação dos campos da mensagem e qual o seu significado.

```

/** @struct rcud_data_message
 * @brief Road Clearance
 */
typedef struct {
    double timestamp;
    int n_directions;
    double range[10];
    double amplitude[10];
    double orientation[10];
    char *host;
} rcud_data_message;

```

Figura 4.10: Mensagem publicada pelo módulo RCUD, com informações sobre a ocupação do espaço.

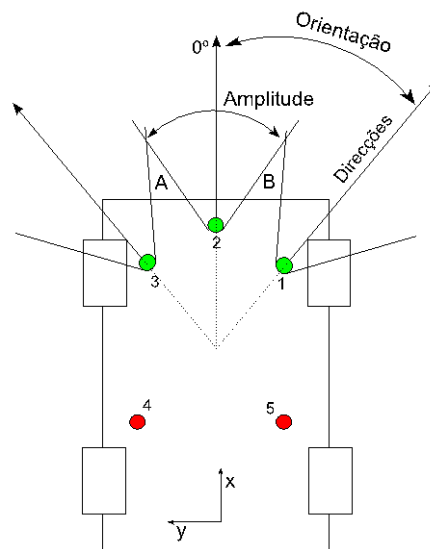


Figura 4.11: Representação dos campos da mensagem publicada pelo módulo RCUD.

4.2.3 UAN

O último módulo desenvolvido, de nome UAN, subscreve os dados do módulo RCUD, tendo assim conhecimento do qual o espaço livre e ocupado à frente do robô. Este módulo tem como objectivo auxiliar a condução manual intervindo na trajectória do robô quando é detectada uma

potencial colisão. As mensagens que este módulo publica são do mesmo tipo que as mensagens enviadas pelo módulo GAMEPAD, Figura 4.12, o que faz destes dois módulos concorrentes.

```

/** @struct robot_motion_command_message
 * @brief This is the command message, that controls the speed and direction of the atlas robots.
 */
typedef struct {
    double timestamp;
    double brake;
    double dir;
    double speed;
    int priority;
    double life;
    char *host;
} robot_motion_command_message;

```

Figura 4.12: Mensagem de controlo enviada do módulo UAN e GAMEPAD para o BASE.

De modo a evitar instabilidade na condução do robô quando estes dois módulos estiverem a enviar ordens distintas, tirou-se partido de dois campos presentes nas mensagens de controlo e da lógica *FIFO* (*First In First Out*) implementada na gestão de mensagens no BASE. O campo “*priority*” e “*life*” definem a prioridade da mensagem e o seu tempo de vida, respectivamente. Ao receber mensagens o BASE vai organizá-las de acordo com a lógica *FIFO*, mas tendo em conta a prioridade de cada mensagem, ou seja, ordena as mensagens de acordo com a ordem de chegada e da prioridade que possuem, Figura 4.13.

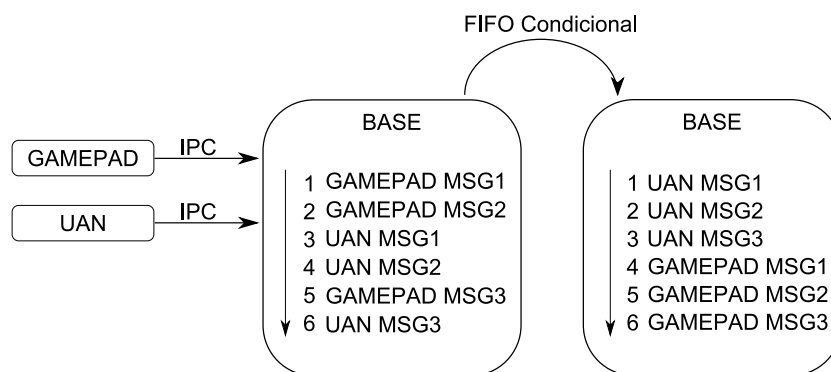


Figura 4.13: Organização das mensagens recebidas pelo módulo BASE, utilizando uma lógica FIFO condicionada.

Como se pode ver pela Figura 4.13, as mensagens de maior prioridade, como as do módulo UAN, vão ser executadas em primeiro lugar. Como todas as mensagens enviadas tem um tempo de vida muito curto, em situações em que o módulo UAN intervenha, o módulo GAMEPAD irá deixar de ter controlo pois as suas mensagens não sobrevivem tempo suficiente para serem executadas.

O módulo UAN apenas tem acesso aos dados de distância dos sensores de ultra-sons, podendo apenas tomar decisões de direcção e não de velocidade, pois não tem informações para tal. Sendo a velocidade e a direcção campos da mesma mensagem, Figura 4.12, não podem ser enviados separadamente. Como é o utilizador a definir a velocidade através do módulo GAMEPAD, as mensagens do módulo UAN ao serem executadas, apesar de definirem uma direcção causariam a paragem do robô, pois não definiam a velocidade.

Para ultrapassar este problema decidiu-se subscrever o tipo de mensagens que o próprio módulo UAN publica, assim como o GAMEPAD. As mensagens recebidas são analisadas e consoante o campo que define a prioridade, é possível identificar qual o módulo que a publicou. Extrai-se assim a velocidade das mensagens enviadas pelo GAMEPAD, que é então utilizada pelo módulo UAN, evitando assim que o robô pare. O condutor, mesmo em situações de emergência, poderá continuar a controlar a velocidade com o comando, no entanto, a direcção será definida por o módulo UAN. É importante referir que em marcha atrás o módulo não interfere com a direcção, pois não possui informações que o permitam.

De modo a actuar a direcção do robô, este módulo associa a cada sensor uma equação que descreve a direcção a tomar em relação à distância que este mede e à velocidade a que o robô se desloca. Esta equação é aplicada sempre que o valor de distância de um determinado sensor seja menor que a distância de segurança denominada de $Secure_{Dist}$ e que é calculada através da equação 4.

$$Secure_{Dist} = 1,5 \times \frac{Vel}{100} + 0,6 \quad (4)$$

Sendo a velocidade definida entre 0 e 100, a variável $Secure_{Dist}$ vai variar linearmente consoante a velocidade pedida, entre 0,6 m e 2,1 m. Quanto maior a velocidade maior será a distância a que o robô iniciará a sua manobra de desvio.

Como são utilizados 3 sensores, são calculadas 3 direcções possíveis e aplica-se de seguida algumas regras para definir qual a direcção final a adoptar para o robô. Aos sensores laterais 1 e 3 é atribuída uma expressão linear, equação 5 e equação 7, respectivamente. No sensor 2 a variação da direcção deve crescer de forma mais rápida com a diminuição da distância, e foi escolhida uma curva dada pelo co-seno, equação 6. Esta opção foi tomada porque o sensor 2 está posicionado no centro e para o robô se desviar de um obstáculo que está colocado mesmo à sua frente, terá que começar a virar com maior amplitude e mais cedo do que para se desviar de um obstáculo que poderá estar parcialmente no seu caminho, como é dado pelos sensores 1 e 3. Foi escolhida uma equação baseada no co-seno, por ter o comportamento pretendido e por ser facilmente parametrizável.

$$dir1 = -\frac{Max_{Dir}}{Secure_{Dist} - Min_{Dist}} \times Dist_{S1} + \frac{Max_{Dir} \times Secure_{Dist}}{Secure_{Dist} - Min_{Dist}} \quad (5)$$

$$dir2 = \frac{Max_{dir} \times Secure_{Dist}}{Secure_{Dist} - Min_{Dist}} \times \cos\left(\frac{Dist_{S2}}{Secure_{Dist} \times \frac{\pi}{2}}\right) \quad (6)$$

$$dir3 = \frac{Max_{Dir}}{Secure_{Dist} - Min_{Dist}} \times Dist_{S1} - \frac{Max_{Dir} \times Secure_{Dist}}{Secure_{Dist} - Min_{Dist}} \quad (7)$$

A variável Min_{Dist} corresponde a uma distância mínima inferior à qual a direcção de viragem será máxima. Neste caso, foi definida como 0,5 metros pois corresponde à distância que é activada a emergência do tipo 2 do sistema de anti-colisão, que imobiliza o robô. A variável Max_{Dir} corresponde ao valor máximo do ângulo em radianos admitido para a direcção e a variável Min_{Dir} corresponde ao valor mínimo. Neste caso, estas variáveis possuem o mesmo valor absoluto tendo apenas sinais diferentes.

Na Figura 4.14, podemos ver a representação das três equações anteriores, para uma velocidade de 60, tomando a variável $Secure_{Dist}$ o valor de 1,5 m (equação 4). A essa velocidade, para cada sensor que apresente uma distância inferior a 1,5 m, será calculada uma direcção de resposta.

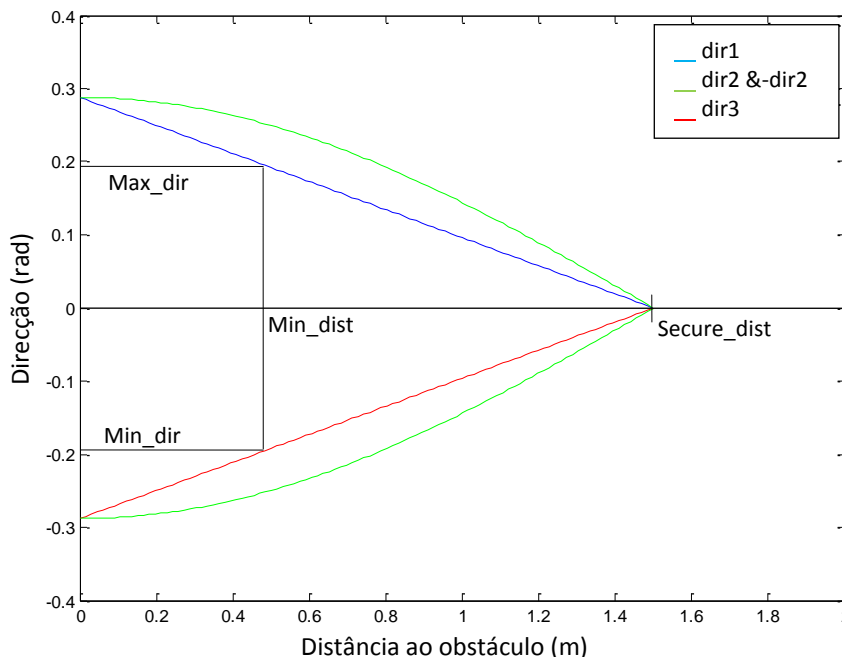


Figura 4.14: Variação da direcção com a distância para cada 1 dos 3 sensores frontais para uma velocidade de 60.

Normalmente, a direcção final que o robô irá tomar, vai ser aquela que tiver maior valor absoluto das 3 direcções calculadas. No entanto, foram aplicadas algumas regras heurísticas, esquematizadas na Figura 4.15, de modo a tornar o sistema mais eficaz e contemplar duas situações concretas. A primeira situação permite fazer a escolha da melhor direcção a tomar quando o robô encontra um obstáculo mesmo à sua frente. Acontece quando a maior direcção calculada está associada ao sensor 2, o que significa que o robô terá que se desviar para um dos lados. De modo a que o robô escolha o lado que esteja menos obstruído, são analisadas as outras duas direcções e a que tiver maior valor irá dar o sinal à direcção 2.

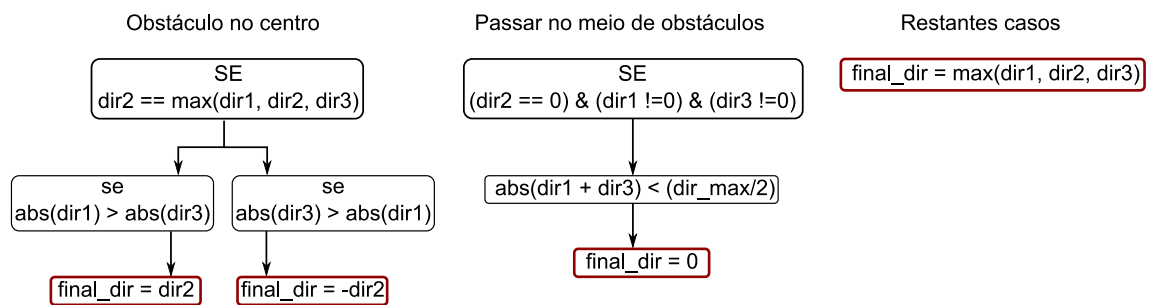


Figura 4.15. Regras heurísticas aplicadas na escolha da direcção final a adoptar para o robô.

A segunda regra foi aplicada de modo a que o robô conseguisse passar por entre dois obstáculos sem que a sua direcção oscilasse desnecessariamente. Ou seja, quando o robô está a tentar passar por entre dois obstáculos, a direcção 2 será zero e a direcção máxima irá ser a direcção 1 e 3 alternadamente. Pois ao virar segundo a direcção 1 a direcção 3 irá tornar-se maior até ser máxima e de seguida ao virar segundo a direcção 3 a direcção 1 irá aumentar e tornar-se máxima e assim sucessivamente, o que provocaria instabilidade na direcção. Assim, no caso de o sensor 2 não detectar risco de colisão, ou seja, a direcção para ele calculada for de zero, os outros dois sensores serão analisados. Se o valor absoluto da soma da direcção 1 e direcção 3 for menor que metade da direcção de viragem máxima significa que o robô tem obstáculos em ambos os lados a distâncias semelhantes. Assume-se então que o robô estará a passar por o meio de obstáculos e a direcção a tomar será de zero.

4.3 Testes e Resultados

Neste tipo de sistema é difícil arranjar testes passíveis de serem realizados de forma a quantificar a eficiência do sistema. Sendo assim foram realizados ensaios para varias situações e é

feita uma análise qualitativa do seu desempenho. Nestes ensaios a velocidade foi limitada a 60 e o robô foi controlado utilizando o *gamepad*, usando apenas o botão da aceleração e a direcção ficou a cargo do módulo UAN. As situações abrangidas nos ensaios realizados podem ser vistas na Figura 4.16, e correspondem aos seguintes casos de obstrução:

1. Com obstáculo apenas do lado direito;
2. Com obstáculo apenas do lado esquerdo;
3. Passar por entre dois obstáculos;
4. Com obstáculo no meio e no lado esquerdo;
5. Com obstáculo no meio e no lado direito;
6. Testes genéricos com obstáculos colocados na área a frente do robô.

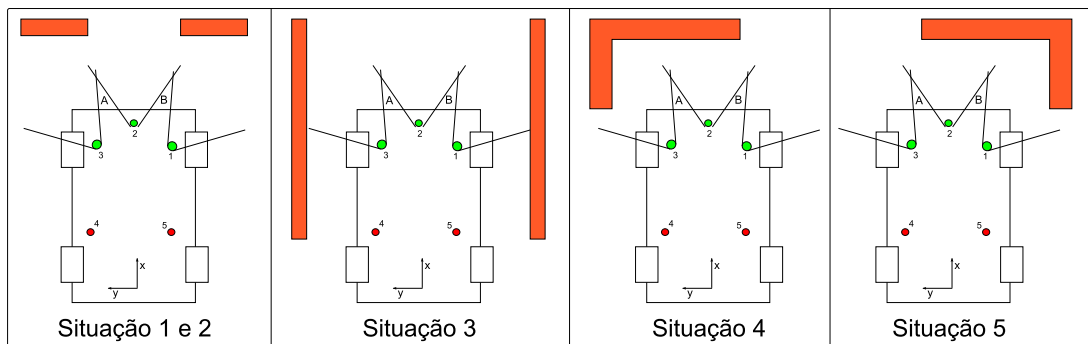


Figura 4.16: Situações contempladas nos ensaios realizados.

Nos casos em que apenas existem obstáculos num dos lados, situação 1 ou 2, o sistema consegue desviar a trajectória do robô, tendo evitado as colisões em todos os ensaios realizados. Também no caso em que o robô passa por entre dois obstáculos, situação 3, a regra heurística aplicada funciona bem e o robô passa sem ocorrerem grandes oscilações na direcção.

Nos casos em que o robô tem um obstáculo directamente a sua frente e de um dos lados, os resultados são mais variáveis. Para obstáculos com a mesma largura do robô, tendo a área a sua frente completamente obstruída, o desvio é mais complicado e nem sempre acontece. Nos casos em que o obstáculo ocupe pouco mais de metade da área a sua frente, situação 4 e 5, o robô consegue-se desviar na maioria das vezes, existindo espaço para realizar a manobra.

Nos casos em que apenas está o sensor central a detectar um obstáculo a direcção seleccionada por defeito corresponde a uma viragem à esquerda. Devido à grande amplitude do sensor, caso o obstáculo esteja mais chegado ao lado esquerdo, no limite da detecção mas não o suficiente para ser detectado pelo sensor lateral esquerdo, em alguns casos o robô não tem espaço suficiente para realizar a manobra de desvio. Para ultrapassar este problema, uma

possibilidade seria dar a escolha ao condutor, analisando também a direcção enviada nas mensagens do módulo GAMEPAD, reforçando-a e adoptando-a como direcção final. Caso não estivesse a ser definida nenhuma direcção então caberia ao módulo UAN a escolha da direcção, como acontece actualmente.

Em geral, os resultados são bastante aceitáveis, sendo que o sistema consegue evitar obstáculos de forma eficaz e quando não é possível desviar dos obstáculos o sistema de anti-colisão actua evitando na maioria das vezes que o robô colida com o obstáculo. O sistema da forma como foi pensado é bastante parametrizável e esses parâmetros influenciam o comportamento do sistema. Com os parâmetros utilizados para os ensaios, mencionados anteriormente, o sistema comporta-se de forma autónoma quando próximo de obstáculos e consegue evitá-los de forma segura. Estes parâmetros poderão ser alterados de modo a dar mais controlo ao utilizador, tornando o sistema mais discreto mas também não tão eficaz no desvio dos obstáculos, principalmente em grandes obstáculos posicionados mesmo a frente do robô.

5 Conclusões

A reestruturação do robô ATLAS 2010 tinha como objectivo modernizar um dos robôs mais antigos que ainda participa no Festival Nacional de Robótica e que mais vitórias somou ao longo dos seus anos de participação. A substituição da electrónica facilitou bastante a adição do novo hardware que permitiu desenvolver os sistemas de segurança. Estes sistemas, por sua vez, vieram tornar o robô mais seguro, minimizando as suas colisões com o meio ambiente e reduzindo o risco de provocar danos. Neste capítulo será feita uma análise conclusiva sobre o trabalho desenvolvido, quais os objectivos cumpridos e os que ficaram aquém das expectativas. Para além disso, são mencionadas algumas tarefas relativas a problemas ou funcionalidades que seria importante resolver ou melhorar.

5.1 Conclusões

A reestruturação do robô foi uma tarefa complexa, não só pelos objectivos propostos, mas porque para os realizar teve que haver um levantamento completo sobre o modo de funcionamento do robô, desde a electrónica ao modo de controlo de todo o hardware presente. Sendo este robô o resultado de 5 anos de adições e alterações de hardware e software realizadas por pessoas diferentes, não existia nenhum documento que contivesse informação recente sobre o estado do robô. Sendo assim, o levantamento de informação foi feito recorrendo a várias fontes, tendo sido os membros mais antigos da equipa ATLAS uma ajuda fundamental nesta tarefa. Este documento constitui assim uma fonte de informação que poderá ser útil para futuros membros que venham a realizar projectos no ATLAS 2010.

Apesar das novas placas instaladas no ATLAS 2010 possuírem à partida alguns problemas, nomeadamente os erros nos circuitos e outras alterações que foram feitas, as vantagens que esta arquitectura traz em relação à antiga justificou a mudança. A modularidade do sistema possibilita a adição de novo hardware de modo muito mais simples, bastando para isso desenvolver uma nova placa de expansão e sem ser necessário conhecer em pormenor todo o hardware já existente. Reduziu-se também a grande quantidade de cabos que existiam na arquitectura antiga e o desenvolvimento de um suporte para abrigar todas as placas permitiu também remover

parafusos e chapas que eram utilizadas para fixar as placas antigas. Todas estas alterações melhoraram imenso o aspecto do robô e tornaram mais prática a sua manutenção, pois as placas estão agora mais acessíveis e podem ser facilmente removidas e encaixadas na placa mãe. Apesar da melhoria que sofreu, o ATLAS 2010 está longe de ser um projecto acabado e existem vários aspectos que podem ser melhorados e são mencionados alguns na secção seguinte de trabalho futuro.

O sensor de ultra-sons escolhido revelou-se bastante simples de utilizar e possui várias escolhas em relação à interface de aquisição de dados. Os dados que fornece são bastante estáveis estando o sensor estático e apontado a um objecto também estático. No entanto, montado no robô em movimento, os dados já não são tão estáveis e ocorrem oscilações, por vezes com amplitudes elevadas, mesmo quando o robô se move em trajectórias rectas apontado a um obstáculo estático. Estas oscilações são normalmente para valores superiores o que implica que mesmo não filtrando os dados, o sistema de anti-colisão de baixo nível não irá sofrer muito com esse problema. São nos casos em que as oscilações vão para valores inferiores que podem ocorrer falsos positivos no sistema e este limitar a velocidade do robô ou mesmo parar quando não é necessário, sendo que estas situações não são frequentes.

Mesmo não possuindo informação sobre a direcção e a velocidade do robô, o sistema de anti-colisão possui um desempenho bastante aceitável, conseguindo evitar colisões e danos no robô, para velocidades até 90 (1,8 m/s). Sendo que este é o principal objectivo do sistema, considera-se que foi cumprido com sucesso.

Para o desenvolvimento do sistema de auxílio à navegação foi necessário estudar as ferramentas do *Carmen* e *IPC* de forma a poder utilizá-las no desenvolvimento dos módulos. Estas ferramentas facilitaram a implementação do sistema desenvolvido no software de condução manual aproveitado do ATLAS MV.

A aquisição da velocidade através da intercepção das mensagens do módulo GAMEPAD revelou-se eficaz e funciona correctamente, permitindo ao utilizador definir a velocidade mesmo em situações em que o sistema de navegação controla a direcção.

Apesar de ser baseado em apenas 3 sensores, conclui-se que o sistema funciona e é capaz de auxiliar o condutor no desvio de obstáculos. Da forma como foi pensado, pode ser parametrizado no futuro de modo a obter outro tipo de comportamento, menos ou mais interventivo na condução. É de salientar que os dois sistemas de segurança desenvolvidos se complementam, na medida em que se o sistema de auxílio à navegação não conseguir que o robô se desvie dos obstáculos, o sistema de baixo nível irá impedir que este colida.

Sendo o ATLAS 2010 utilizado muitas vezes para demonstração, em que se dá a oportunidade às pessoas de o conduzir, este trabalho foi um passo importante no sentido de o tornar mais

seguro. Para além disso, a reabilitação efectuada deu uma vida nova ao robô, que já tem um novo projecto programado para o próximo ano.

5.2 Trabalho futuro

Em relação a reestruturação do robô ATLAS, ainda existem algumas tarefas que mais tarde ou mais cedo terão que ser realizadas, de modo melhorar o comportamento do robô ou a evitar problemas futuros. Das tarefas mais importantes, destaca-se a aquisição de novas rodas e o desenvolvimento de um sistema de acoplamento à medida, ou a substituição dos veios de encaixe por novos que sejam compatíveis com as rodas a adquirir. A direcção do robô também poderia ser melhorada, substituindo a cremalheira, que já apresenta algumas folgas. Seria também importante melhorar a forma como a placa do motor actua o travão ou rever os parâmetros calculados experimentalmente de modo a tornar a travagem mais eficaz. Uma das possibilidades seria actuar o travão sempre que se deseje parar o robô, independentemente da velocidade a que este esteja.

O microcontrolador da placa de controlo dos motores possui um programa extenso e complexo, sendo responsável por diversas tarefas, em que muitas são controladas através de “*interrupts*”, o que pode provocar atrasos em determinadas tarefas. Em contrapartida o microcontrolador da placa de controlo dos sensores e das luzes possui um código bem mais simples, em que a maioria das ordens que recebe apenas lhe requerem que active ou desactive portas no microcontrolador, sem necessidade para “*interrupts*”. Seria interessante equilibrar a carga entre estes dois microcontroladores, passando, por exemplo, a geração do PWM do servomotor da placa dos motores para a placa de controlo dos sensores e das luzes. Esta distribuição de carga iria garantir a expansibilidade de código em qualquer uma das placas.

Seria também importante, de modo a estimular o desenvolvimento de novo software, que o programa em bloco único usado na condução autónoma do ATLAS 2010, desse lugar a software baseado em *Carmen*. Nesta tarefa, o software já desenvolvido para o ATLAS MV poderá ser uma grande ajuda, pois existem alguns módulos que serão seguramente iguais.

Ambos os sistemas de segurança desenvolvidos são facilmente parametrizáveis e caso se venha a alterar propriedades do robô que influenciem o seu desempenho, directa ou indirectamente, como a mudança de parâmetros da carta *Maxon* ou a mudança das rodas, poderá ser feito um ajuste sem que se tenha um conhecimento profundo sobre o seu modo de funcionamento, alterando para isso apenas determinadas variáveis chave. No auxílio à navegação

poderá existir ainda a possibilidade de melhorar o sistema, explorando a possibilidade de novas regras heurísticas ou alterando as variáveis que influenciam a resposta directa do sistema, de modo a obter um melhor desempenho.

6 Referências

1. IPCB. *Robótica2009 - Festival Nacional de Robótica - IPCB*. Maio de 2010]; Available from: <http://www.est.ipcb.pt/robotica2009/>.
2. Silva, J. and J. Gomes. *ATLAS - Robot Móvel*. Maio de 2010]; Available from: <http://www2.mec.ua.pt/activities/graduationprojects/graduationprojectpages/2002-2003/robotatlas-josegomesjosesilva/>.
3. Neta, M.O.M. *ATLAS II*. Maio de 2010]; Available from: <http://www2.mec.ua.pt/activities/graduationprojects/graduationprojectpages/2003-2004/RobotAtlasII-MiguelOliveiraMiguelNeta/paginas/index.htm>.
4. *ATLAS project*. Junho de 2010.]; Available from: <http://atlas.web.ua.pt/>.
5. RcTeck. *RcTeck*. Junho de 2010]; Available from: http://www.rctek.com/technical/handling/ackerman_steering_principle.html.
6. *CARMEN*. Junho de 2010]; Available from: <http://carmen.sourceforge.net/>.
7. Oliveira, M., et al., *Modular Scalable Architecture for the Navigation of the ATLAS*. 2009.
8. *Mecânica Viva*. Junho de 2010]; Available from: <http://mecanicaviva.web.ua.pt/>.
9. *Samsung Portugal*. Julho de 2010]; Available from: <http://www.samsung.com/pt/>.
10. Cunningham, W. *Nissan's little robot car: Quick like a bee*. Julho de 2010]; Available from: http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-10054104-48.html.
11. *Nissan EPORO Robot Car "Goes to School" on Collision-free Driving by Mimicking Fish Behavior*. Julho de 2010]; Available from: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2009/_STORY/091001-01-e.html.
12. *Matthew'sVolvoSite - Volvo S80*. Julho de 2010]; Available from: <http://www.matthewsvolvo.com/volvo-cars-s80/>.
13. *New Collision Warning with Auto Brake helps prevent rear-end collisions*. Julho de 2010]; Available from: http://www.volvoclub.org.uk/press/releases/2007/collision_warning.shtml.
14. *Ford Advances Crash Avoidance Technology*. Agosto de 2010]; Available from: <http://www.gpsworld.com/transportation/road/news/ford-advances-crash-avoidance-technology-10332>.
15. Layton, J. *What measures are in place to safeguard against mid-air collisions?* Agosto de 2010]; Available from: <http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/mac.htm>.
16. Oliveira, M. and V. Santos, *Multi-Camera Active Perception System with Variable Image Perspective for Mobile Robot Navigation*. 2008.
17. *MaxBotix Ultrasonic Sensors*. Agosto de 2010]; Available from: <http://www.maxbotix.com/>.
18. Stein, P.S., *Infraestrutura para Condução de um Robô Autônomo usando Aprendizagem*, in *Departamento de Engenharia Mecânica*. 2009, Universidade de Aveiro.

7 ANEXOS

Anexo A

A.1 Placa de distribuição de Potência

Dos conectores que esta placa possui, tem ligações para os seguintes componentes:

- **Botão de emergência:** em série com a alimentação de todos os dispositivos, no entanto, não corta a alimentação dos 24 V fornecidos pelas baterias a esta placa. Sendo assim, nesta ligação está um conector em curto-circuito e existe um botão ON/OFF em série com a alimentação, vinda das baterias para esta placa.
- **Amperímetro:** em série com a alimentação das baterias, mede a corrente eléctrica solicitada pelo sistema.
- **Voltímetro:** em paralelo com a alimentação das baterias, mede a tensão eléctrica e permite saber quando é que as baterias precisam de ser substituídas.
- **Carta *Maxon* do motor:** alimentação da carta de controlo do motor *Maxon*; são fornecidos 24 V que estão em série com um botão de emergência, usado para imobilizar o robô.
- **Regulador 24-12 DC:** converte 24 V para 12 V, que passam numa das linhas de potência da placa mãe e alimentam todas as placas electrónicas.
- **Fusível do regulador 24-12 DC:** esta ligação vai até ao interior do regulador de tensão e permite ter o seu fusível na placa de distribuição de tensão, facilitando a sua substituição no futuro.
- **Câmaras:** alimentação das três câmaras posicionadas na frente do robô com 12 V.

Para além do fusível do regulador de tensão, existe ainda um fusível para os 24 V e outro para os 12 V. O estado dos fusíveis é dado por três “LEDs”, e existem ainda mais dois que sinalizam a presença dos 24 e 12 V. Esta placa não apresentava erros muito graves e estava apenas em falta uma pista no circuito impresso, Figura A1, que levasse os 24 V para a respectiva pista na placa mãe. Todas as ligações mencionadas podem ser vistas no circuito eléctrico representado na Figura A2.

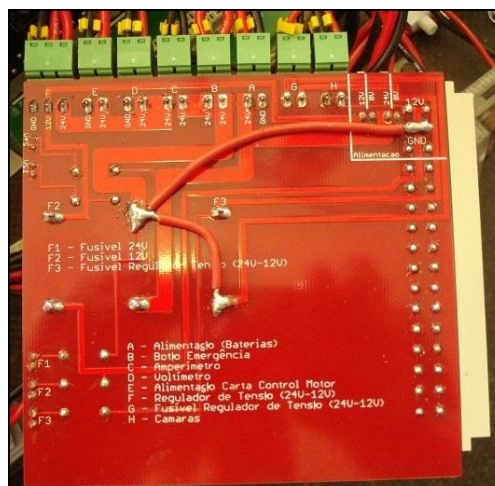


Figura A1: Vista de baixo da placa de distribuição de potência com correcção de ligações.

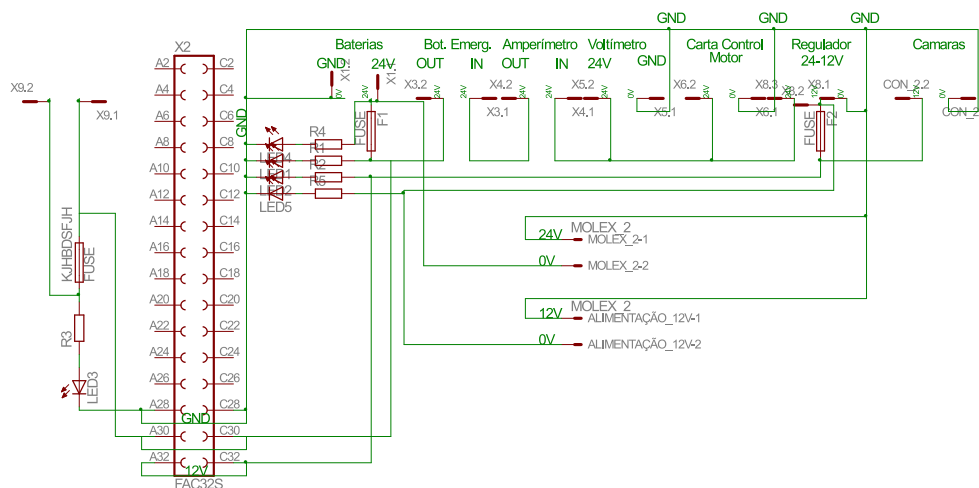


Figura A2: Esquema eléctrico da placa de distribuição de potência.

A.2 Placa de ligação dos sensores

Esta placa tem ligação aos dois sensores de detecção da passageira, alimentados a 12 V, e a 4 sensores genéricos de distância, alimentados com uma tensão de 5 V mas que pode variar entre os 1,2 V e 12 V. Esta variação é conseguida através de um potenciómetro associado a um regulador de tensão “LM317”. Os conectores para ligação dos sensores possuem três vias, duas da alimentação (V+ e V-) e uma com o sinal do sensor. Os sinais vindos dos sensores são encaminhados para pistas na placa mãe que serão ligadas à placa de controlo dos sensores e das luzes, que é a responsável pelo tratamento desses sinais. Estas e outras ligações da placa estão representadas no seu esquema eléctrico, Figura A3.

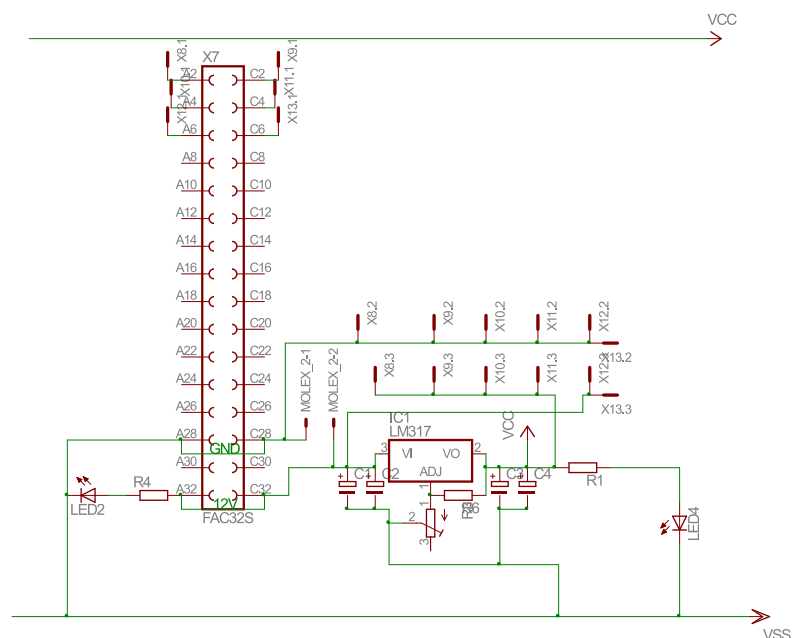


Figura A3: Circuito eléctrico da placa de ligação dos sensores.

Nesta placa, apenas foi detectado um pequeno erro, identificado na Figura A4 por um círculo. Os “LEDs” de sinalização dos 5 V e 12 V estavam ambos a sinalizar a presença dos 12 V. Esse erro foi corrigido cortando a ligação dos 12 V ao “LED” que sinalizava os 5 V, ficando assim ligado apenas ao regulador de tensão “LM317”. Apesar de existirem dois sensores para detecção da passageira, estes apenas ocupam um conector na placa pois é feito o AND lógico do sinal de ambos. Esta tarefa está a cargo de um pequeno circuito integrado presente numa placa auxiliar, que se manteve da arquitectura antiga.

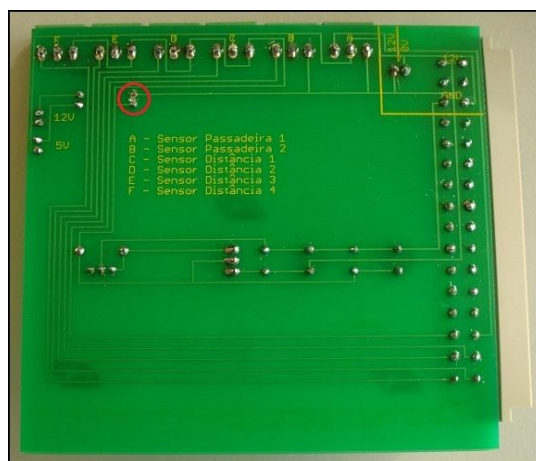


Figura A4: Vista de baixo da placa de ligação dos sensores.

A.3 Placa de ligação das luzes

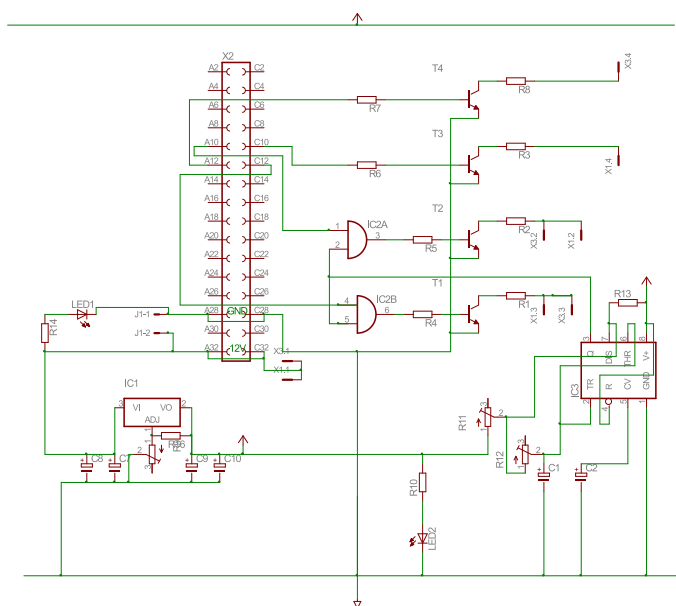


Figura A5: Circuito elétrico da placa de ligação das luzes.

A.4 Placa dos Relés

Nesta placa, o relé mecânico é activado com 12 V e faz comutar a massa, que juntamente com os 24 V vão acender as luzes situadas na frente do robô, para iluminação da pista. Tendo em conta que a tensão máxima fornecida pelo microcontrolador que controla as luzes é de 5V, para

accionar este relé é utilizado um transístor. O sinal do microcontrolador vai então para a base de um transístor “BC337”, que ao saturar faz a ligação entre o colector e o emissor, como se pode ver pelo esquema eléctrico representado na Figura A6. Como no colector estão 12 V, o transístor irá funcionar como interruptor para comutar o relé.

Um dos relés de estado sólido, o R2.2, comuta 12 V e é responsável por activar o solenóide do travão. Este relé pode ser accionado com uma tensão entre 3 V e 32 V, possibilitando ao microcontrolador fazer a sua activação directamente. O relé R2.1 é semelhante ao R2.2 e actualmente não está a ser utilizado, mas, está a funcionar sem problemas, e pode vir a ser utilizado mais tarde. Esta placa possui ainda dois fusíveis, um para os 24 V e outro para os 12 V. Para indicar o estado dos relés e a presença de 12 V são usados “LEDs” de sinalização.

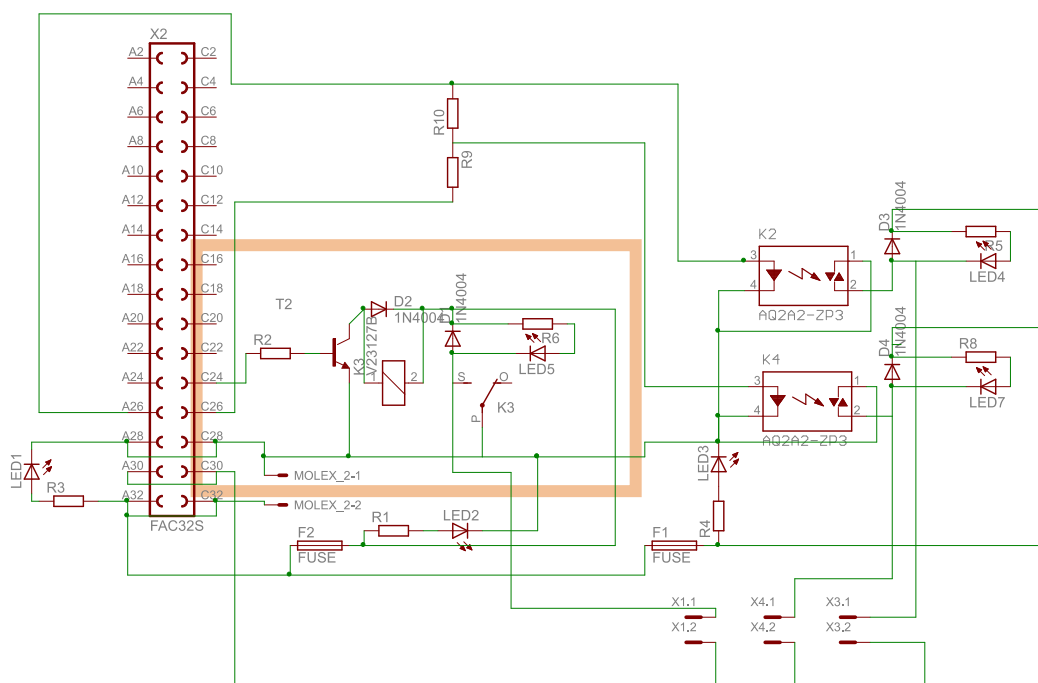


Figura A6: Esquema eléctrico da placa dos relés.

Como se pode ver pela Figura A7, esta placa apresentava alguns erros e teve que sofrer algumas correcções, entre as quais se destaca:

- O conector para ligação das luzes da frente não estava ligado aos 24 V e teve que ser ligado através de um fio de cobre;
- A pista que levava o sinal para comutar o relé R2.2 não estava ligada ao pino correcto do conector de 32 pinos e teve que ser cortada e ligada através de um fio de cobre;

- Foram feitas as alterações necessárias para ter os relés de estado sólido a comutar 12 V em vez da massa, para o qual a placa foi pensada. Estas alterações foram feitas porque apesar de os circuitos da placa terem sido desenhados para que a tensão comutada pelos relés fosse o V- (massa), as ligações para o controlo do relé estavam feitas como se fosse para comutar o V+ (24 V);
- O circuito de alimentação dos “LEDs” de sinalização do estado dos relés R2.1 e R2.2 também teve que ser alterado devido as alterações descritas no ponto anterior.

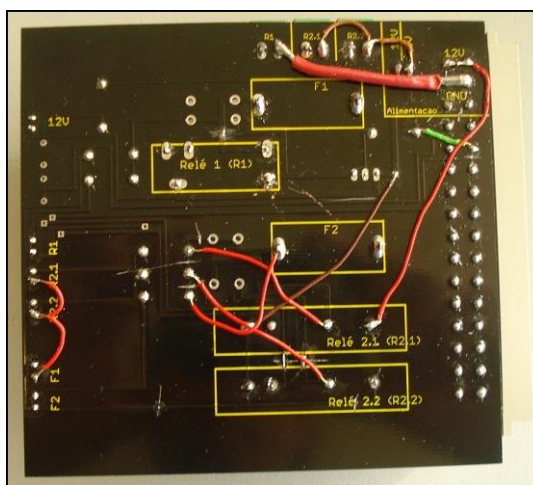


Figura A7: Vista de baixo da placa dos relés com as alterações efectuadas.

A.5 Placa de controlo dos sensores e das luzes

Nesta placa, o processamento está a cargo de um microcontrolador “18F258”, e em conjunto com um “max232”, que converte as tensões dos níveis “TTL” para “RS232”, e um conector “DB9”, possui uma comunicação bidireccional com o computador. Esta comunicação é utilizada para enviar para o computador o estado dos sensores e receber ordens para ligar ou desligar luzes. À semelhança das outras placas, tem ainda um regulador de tensão “LM317”, “LEDs” de sinalização de 12 e 5 V e um “LED” que confirma o “reset” feito ao microcontrolador. Estas ligações estão representadas no esquema eléctrico da Figura A8.

Esta placa possui ainda uma ligação directa à placa de controlo dos motores e do travão, indicando deve dar ordem para que seja accionado o travão. Esta ordem é dada quando a placa de controlo dos sensores e das luzes recebe a indicação do computador que o robô está na última volta e quando os sensores da passadeira detectam ambos uma linha branca. Neste caso, significa

que o robô chegou a passadeira na última volta e deve parar. Desta forma a travagem é mais rápida, sem ser necessário o computador receber a informação dos sensores da passadeira e enviar de seguida a ordem para a placa que controla o travão. A ordem é dada directamente entre as placas, e o computador é eliminado como intermediário.

Em relação a erros, estava em falta o local para colocar um condensador, que teve que ser colocado na parte de trás da placa e ainda uma pista incorrecta que teve que ser cortada e refeita utilizando um pequeno fio de cobre, como se pode ver pela Figura A9.

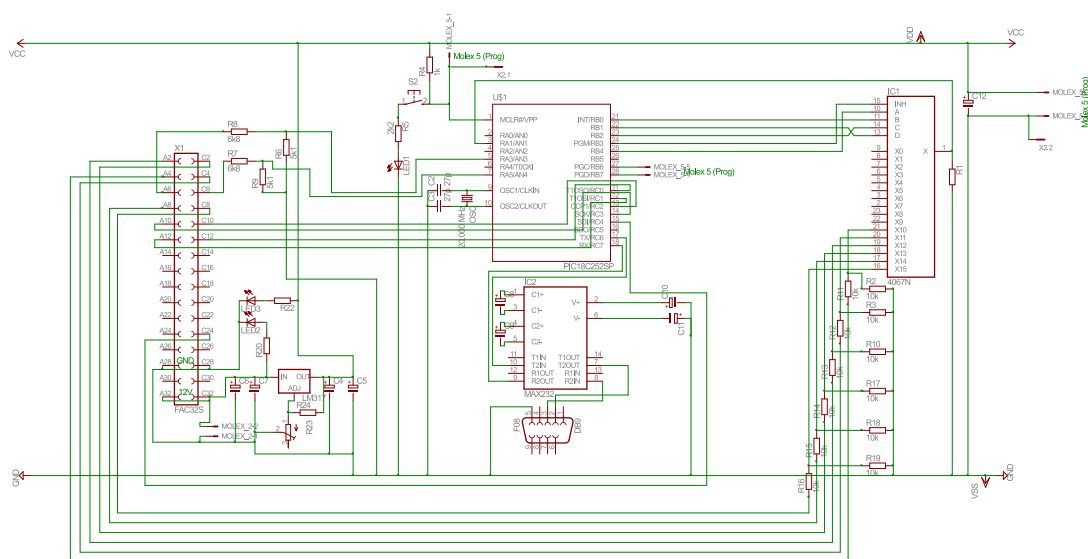


Figura A8: Esquema eléctrico da placa de controlo dos sensores e das luzes.

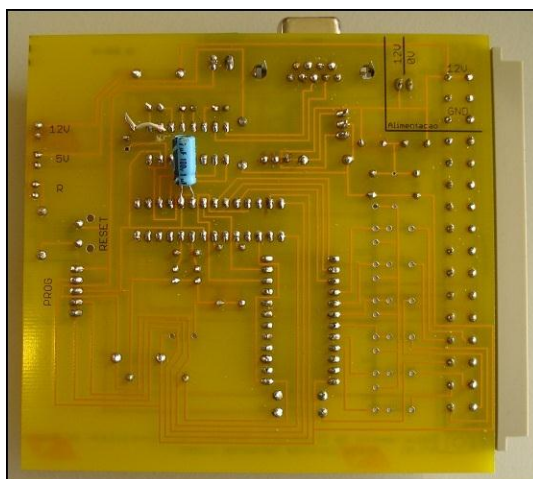


Figura A9: Vista de baixo da Placa de controlo dos sensores e das luzes.

A.6 Placa de Controlo dos motores e do travão

Tal como a placa de controlo dos sensores e das luzes, a placa de controlo dos motores e do travão possui um microcontrolador “18F258”, um conector “DB9” e um “max232”, permitindo uma comunicação bidireccional com o computador. Possui dois reguladores de tensão, um “LM317” que fornece 5 V para alimentar o microcontrolador e um “LM338” que fornece 7 V para o funcionamento do servomotor da direcção. Ambos os reguladores estão associados a um potenciómetro que permite ajustar a tensão de saída.

Ao “*set value -*”, da carta *Maxon*, é atribuída uma tensão constante de 0,9 V e o “*set value +*” é variável, gerado pela placa, utilizando um PWM que é depois transformado numa tensão analógica. Como o microcontrolador apenas consegue fornecer 5V, este PWM vai para a Base de um transístor (“BC547 PNP”) que actua como interruptor, a semelhança do que acontecia na placa dos relés. Tendo no seu emissor uma tensão de 9 V, o PWM gerado pelo microcontrolador será replicado no colector do transístor, mas agora com uma tensão máxima de 9 V. Depois de obtido, este PWM irá passar por um filtro e é convertido numa tensão analógica constante. Esta tensão vai variar entre 0 e 9 V de acordo com o “*duty cycle*” do PWM. Assim, é possível existir diferenças de potencial positivas e negativas entre os dois conectores, fazendo movimentar o motor em ambos os sentidos.

O conector do servomotor fornece a alimentação e o sinal de controlo. Este sinal de controlo é um PWM gerado pelo microcontrolador, e a alimentação ao sair da placa passa ainda por um botão on/off que foi adicionado para poder desligar o servomotor independentemente do resto.

Todas as ligações da placa podem ser vistas no seu esquema eléctrico, representado na Figura A10.

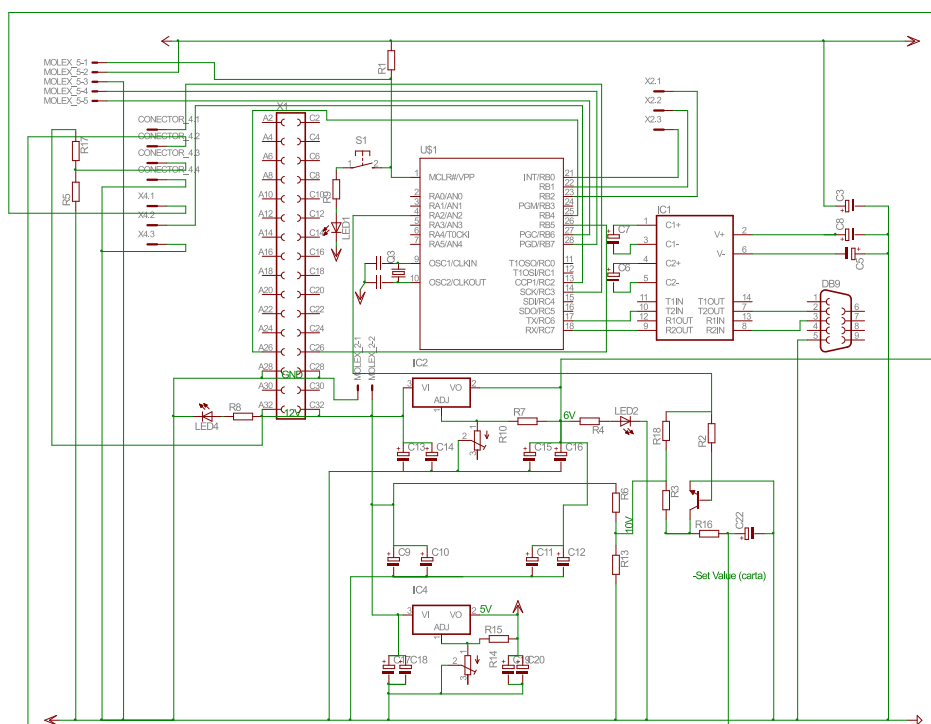


Figura A10: Esquema eléctrico da placa de controlo dos motores e do travão

Esta placa possui alguns erros e foram feitas algumas alterações, Figura A11, entre os quais se destaca:

- O conector para o servomotor não tinha a tensão correcta e alterou-se a ligação com um fio de cobre, desde o pino do conector até ao regulador de tensão;
- Adicionado o conector do encoder, que não existia inicialmente, furando a placa e fazendo a ligação aos pinos do microcontrolador utilizando fios de cobre.
- Adicionou-se quatro resistências, três colocadas por detrás da placa e uma na frente, tendo sido feitos 2 furos na placa;
- Algumas pistas tiveram que ser interrompidas e outras adicionadas com fios de cobre.

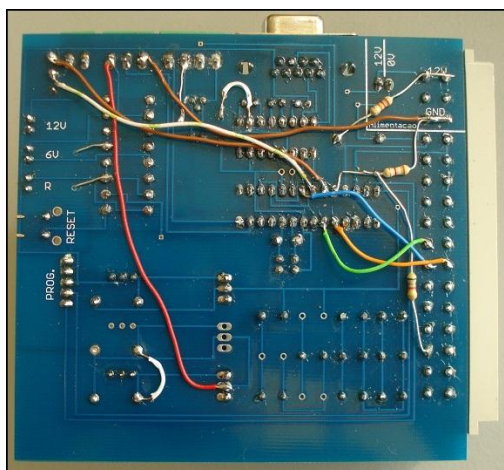


Figura A11: Placa de controlo dos motores e do travão.

Anexo B

Desenhos de definição da caixa de suporte das placas.

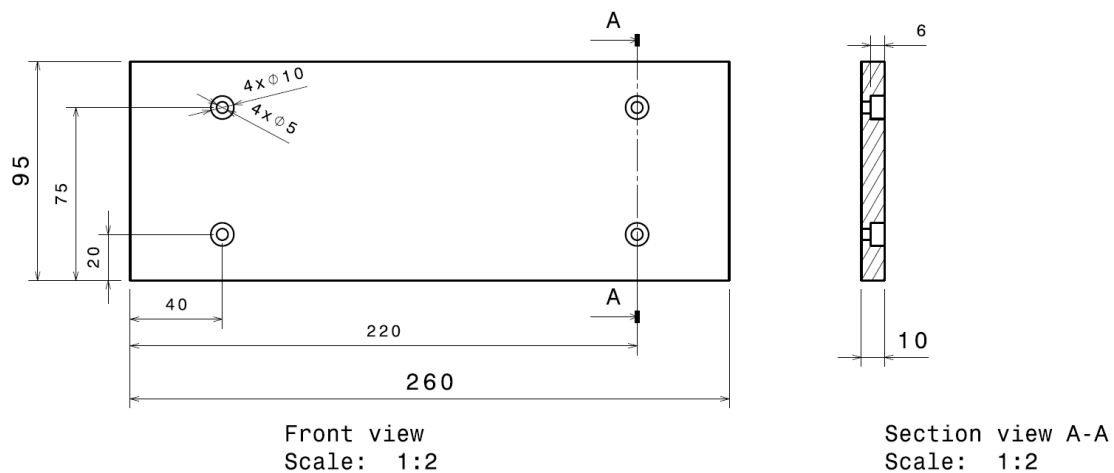


Figura B1: Desenho de definição da base.

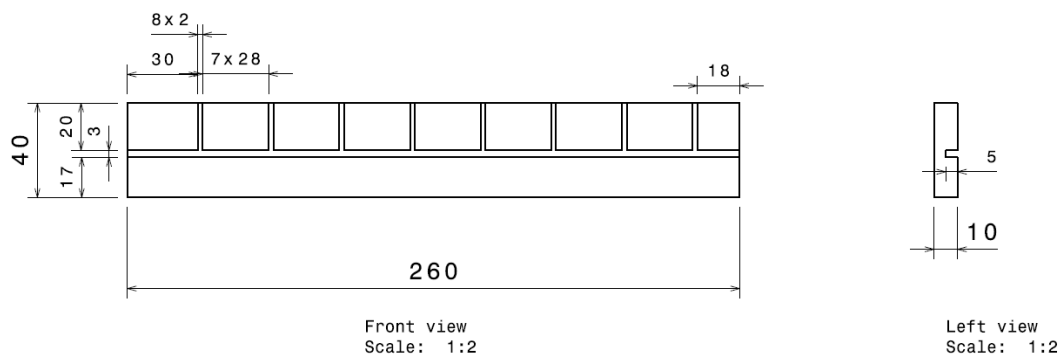


Figura B2. Desenho de definição da face da frente.

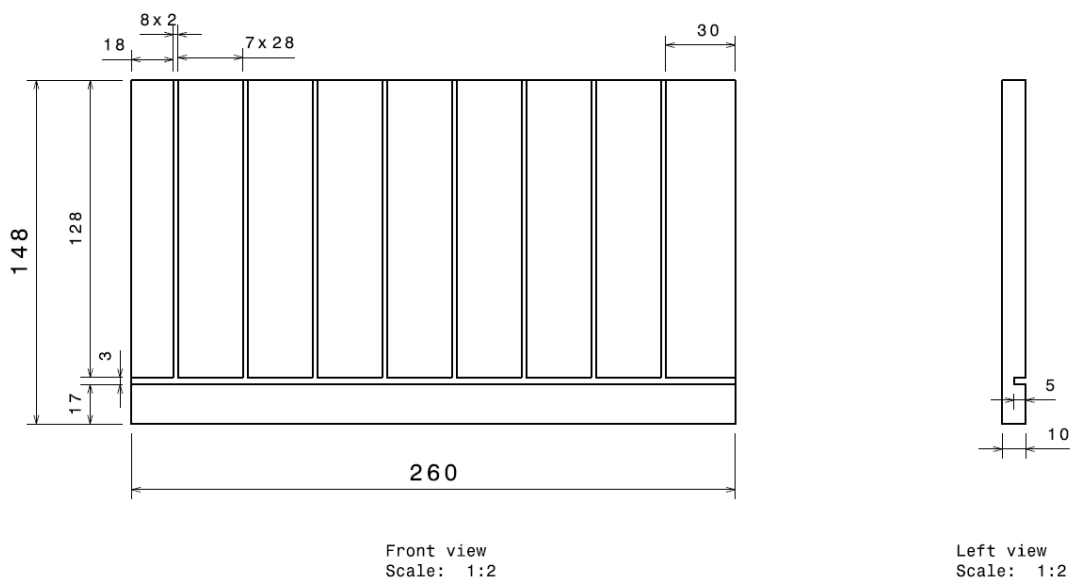


Figura B3: Desenho de definição da face de trás.

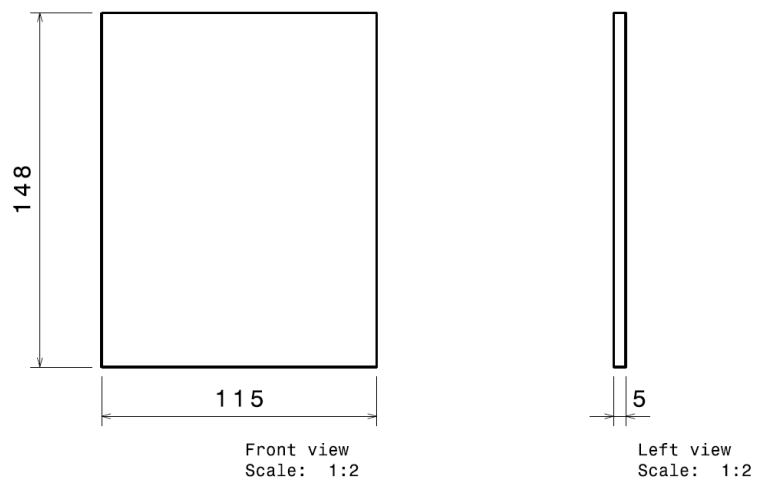


Figura B 4. Desenho de definição da face lateral esquerda.