

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Prancha Robótica Autónoma

Duarte Rafael de Almeida

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Aníbal Castilho Coimbra de Matos (Prof. Dr.)

Julho 2012

A Dissertação intitulada


“Prancha Robótica Autónoma”

foi aprovada em provas realizadas em 17-07-2012

o júri


Presidente Professor Doutor António Paulo Gomes Mendes Moreira
Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


Professor Doutor Eduardo Alexandre Pereira da Silva
Professor Adjunto Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior
de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto


Professor Doutor Aníbal Castilho Coimbra de Matos
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.


Autor - Duarte Rafael de Almeida

Resumo

As mortes associadas a acidentes marítimos ocorridos durante atividades piscatórias, recreativas ou desportivas apresentam-se ainda como uma preocupação social prioritária. Neste sentido muitas equipas de busca e salvamento são criadas e treinadas no sentido de diminuir o risco de morte associado a este tipo de acidentes. No entanto em qualquer operação de busca e salvamento em meio aquático, uma das maiores preocupações é a segurança dessas equipas de resgate e como tal essas equipas são muitas vezes obrigadas a adaptar ou mesmo suspender a sua atuação devido a falta de visibilidade ou condições atmosféricas e/ou marítimas adversas.

No sentido de salvaguardar a segurança dessas equipas, não comprometendo as missões de resgate e a sobrevivência de náufragos, inúmeras inovações tecnológicas têm vindo a surgir complementando a atuação dessas equipas.

Este trabalho consistiu na construção de um modelo protótipo de um Veículo Autónomo de Superfície (ASV) pensado para apoiar operações de busca e salvamento em meio aquático de forma coordenada com outros tipos de veículos autónomos visando complementar a atuação das equipas de resgate existentes atualmente.

Este protótipo terá a capacidade para um determinado *payload* (aproximadamente 50kg) de forma a poder transportar equipamentos como cápsulas salva vidas insufláveis e/ou outros dispositivos de assistência ao náufrago. Enquadra-se nas atividades da Unidade de Robótica e Sistemas Inteligentes do INESC TEC de resposta à crescente procura de soluções robóticas, e está a ser desenvolvido no propósito de contribuir para o Projeto de âmbito europeu ICARUS (*Integrated Components for Assisted Rescue and Unmanned Search Operations*), projeto a ser desenvolvido em cooperação entre vários organismos europeus.

Abstract

Deaths associated with maritime accidents occurred during fishing, recreational or sports activities are still a main social concern. Due to this concern many search and rescue teams are created and trained in order to reduce the risk of death associated to such accidents. However, in any maritime search and rescue operation, the safety of the rescuers is one of the main concerns. Therefore these teams are often forced to adapt or even to suspend their operations due to lack of visibility or atmospheric and/or maritime adverse conditions.

To maintain the safety of those teams, and without compromising the rescue missions and the survival of castaways persons, several technological innovations have emerged complementing the action of those search and rescue teams.

The main goal of this project is to develop a prototype model of an autonomous surface vehicle (ASV) designed to support maritime search and rescue operations in coordination with other kinds of autonomous vehicles in order to reinforce the action of the rescue teams that exist nowadays.

This prototype will be capable of carrying a given payload (approximately 50kg) in order to be able to transport equipment like inflate life raft capsules and / or other castaway aid equipment. This project is integrated in the activities of the Robotics and Intelligent Systems Unit of INESC TEC in response to the growing demand for robotic solutions, and is being developed in order to contribute to the Project ICARUS (Integrated Components for Assisted Rescue and Unmanned Search Operations), project to be developed in cooperation with several Europeans organizations.

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao Prof. Aníbal Matos, meu orientador na realização deste projeto, por todo apoio e orientação na concretização do trabalho, por todo o seu entusiasmo e motivação para o mesmo e por tudo aquilo que tive a oportunidade de aprender.

Agradeço a toda a equipa de investigadores do *Ocean Systems Group*, nomeadamente ao Eng. Nuno Cruz, Bruno Ferreira, José Melo, Nuno Abreu e Rui Almeida pela disponibilidade e prontidão no seu apoio nas mais diversas áreas e por todas as opiniões e ideias que tanto contribuíram para o sucesso na realização deste trabalho.

A um nível mais pessoal gostaria também de deixar um forte agradecimento à minha namorada Raquel por toda a força que me transmite, pelo seu apoio e pela fonte de admiração e inspiração que representa para mim.

Aos meus amigos que me acompanharam durante todo este percurso, pelas memórias, pelo apoio e sobretudo pela amizade.

E por último gostaria de deixar um especial agradecimento à minha família, ao meu irmão Pedro e aos meus pais Armando e Lídia, por me proporcionarem as condições para tudo isto ser possível e pelo apoio incondicional ao longo de todos os anos da minha vida.

Duarte Almeida

Índice

Resumo	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos	v
Índice.....	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xi
Abreviaturas e Símbolos	xiii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 Motivação e Contextualização do Trabalho	1
1.2 Projeto ICARUS - Enquadramento.....	1
1.3 Descrição do Projeto	3
1.4 Organização do Documento	5
Capítulo 2	7
Estado de Arte.....	7
2.1 <i>Levantamento de ASV's desenvolvidos e suas características</i>	7
2.2 Conclusões do levantamento de ASV's e análise das principais tecnologias	9
2.2.1 - Aplicações.....	9
2.2.2 - Estrutura mecânica	9
2.2.3 - Propulsão.....	10
2.2.4 - Motores	10
2.2.5 - Baterias.....	10
2.2.6 - Sistemas Computacionais.....	11
2.2.7 - Navegação:.....	12
2.2.8 - Sensores:	13
2.3 Levantamento de ASV's desenvolvidos para aplicações em busca e salvamento aquático.	13
2.4 Levantamento de Balsa Salva-Vidas	15
Capítulo 3	19
Eletrónica de bordo	19
3.1 Sistema Computacional	19

3.2	Sistema de Posicionamento e Orientação	22
3.3	Sistema de Energia	23
3.4	Sistema de propulsão	24
3.5	Sistema de Comunicações	25
Capítulo 4	27
Estrutura Mecânica		27
4.1	Parte Emersa do ASV	29
4.2	Parte Submersa do ASV	31
Capítulo 5	35
<i>Software</i> de bordo.....		35
5.1	Arquitetura geral	35
5.2	Controlo e Supervisão.....	37
5.3	Navegação.....	39
5.4	<i>Drivers</i> - Interface com dispositivos físicos	40
5.5	Comunicações e <i>Data Logging</i>	40
5.6	Simulação	41
Testes e resultados		43
6.1	Testes e Resultados em simulação.....	44
6.2	Testes e Resultados: Estrutura Mecânica.....	45
6.2.1	- Robustez Mecânica:	45
6.2.2	- Estimação do Centro de Massa	46
6.2.3	- Flutuação.....	47
6.2.4	- Estabilidade.....	47
6.3	Testes e Resultados funcionais	48
6.3.1	- Teste de comunicação	48
6.3.2	- Testes de localização e orientação.	49
6.3.3	- Testes de manobrabilidade	50
6.3.4	- Testes aos controladores de orientação e velocidade.....	50
6.3.5	- Testes de missão em ambiente real	50
Capítulo 6	57
Conclusões		57
7.1	Síntese do Trabalho realizado	57
7.2	Melhoramentos e Desenvolvimentos Futuros	59
Referências	61

Lista de figuras

Figura 1.1 - modelo 3D do protótipo a desenvolver	4
Figura 1.2 - Arquitetura geral do sistema	5
Figura 2.1 - Veículo de resgate AGaPaS.....	14
Figura 2.2 - Sistema em Gaiola.....	14
Figura 2.3 - <i>EMILY</i>	15
Figura 2.4 - <i>Seascout</i>	15
Figura 2.5 - Saco e cápsula de armazenamento de Balsas Salva-vidas	16
Figura 2.6 - Balsa Salva-vidas e componentes	17
Figura 3.1 - <i>Stack PC/104</i> instalada	20
Figura 3.2 - <i>Power Supply PC/104 HE104-75W</i>	21
Figura 3.3 - <i>Paca CPU Kontron MOPSlcdVE</i>	21
Figura 3.4 - Placa <i>EMERAL-4M-XT</i> com 4 portas série configuráveis.....	21
Figura 3.5 - Placas de suporte para <i>Compact Flash</i> (Esquerda) e suporte de sensores (direita)	22
Figura 3.6 - <i>GPS SiRFstar III</i>	22
Figura 3.7 - Bússola <i>OceanServer OS5000</i>	23
Figura 3.8 - Baterias <i>Inspired Energy NL2044</i>	23
Figura 3.9 - Fluxo Energético dentro do ASV.....	24
Figura 3.10 - Propulsor <i>Seabotix SBT150</i>	25
Figura 4.1 - ASV desenvolvido	27
Figura 4.2 - Desmantelamento mecânico do ASV em dois módulos.....	28
Figura 4.3 - Prancha de <i>Bodyboard</i> utilizada	29

Figura 4.4 - Adaptações à prancha: furação da prancha e fixação das placas de alumínio	30
Figura 4.5 - Painel lateral com conectores para cabo e antenas.....	31
Figura 4.6 - Conectores seco-molhado <i>Bulgin Mini Buccaneer</i>	31
Figura 4.7 - Parte Submersa do ASV	32
Figura 4.8 - Perfil vertical com reforços nas extremidades e parafuso no interior (à direita)	32
Figura 4.9 - Tubo de Acrílico.....	33
Figura 4.10 - Tampas do tubo de acrílico (<i>End Caps</i>)	33
Figura 4.11 - End Caps com conectores Subconn para alimentação dos motores	34
Figura 4.12 - Peças para suporte das baterias.....	34
Figura 5.1 - Arquitetura geral do Software a bordo	35
Figura 5.2- Consola de supervisão e controlo do ASV	36
Figura 5.3 - Exemplo de ficheiro de missão.....	37
Figura 5.4 - Arquitetura do <i>software</i> para modo de simulação.....	41
Figura 6.1 - Resultados em Simulação	44
Figura 6.2 - Localização estimada do Centro de Massa	47
Figura 6.3 - ASV em posição lateral	48
Figura 6.4 - ASV controlado remotamente na piscina de testes.....	49
Figura 6.5 - ASV em operação no rio Figura 6.6 - ASV em operação no mar	50
Figura 6.7 - Trajetória do ASV em linha norte-sul em rio em plena atuação	52
Figura 6.8 - Trajetória na realização de linhas iguais para diferentes atuações	53
Figura 6.9 - Posição do ASV em ancoragem autónoma no ponto (0,0) - rio	54
Figura 6.10 - Trajetória do ASV em mar: quadrado.....	54
Figura 6.11 - Linha de 30m efetuada por ASV em mar	55
Figura 6.12 -Posição do ASV em ancoragem autónoma no ponto (0,0) - mar	55

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - ASV's: levantamento de modelos e características.....	8
Tabela 2.2 - Comparação de diferentes tipos de Baterias [25].....	11
Tabela 3.1 - Propulsores: Impulso vs Potência	25
Tabela 6.1 - Duração para ASV realizar linha de 30 metros norte e sul para diferentes atuações - rio.	53

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

AGaPaS	<i>Autonomous Galileo-Supported Rescue Vessel for Persons Overboard</i>
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ASV	<i>Autonomous Surface Vehicle</i>
AUV	<i>Autonomous Underwater Vehicle</i>
EMILY	<i>EMergency Integrated Lifesaving lanYard</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
ICARUS	<i>Integrated Components for Assisted Rescue and Unmanned Search operations</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia E Ciência
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
NURC	<i>Nato Underwater Research Center</i>
OceanSys	<i>Ocean Systems Group</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PVC	<i>Polyvinyl chloride (policloreto de polivinila)</i>
QCD	<i>Quantum Cascade Detector</i>
RC	<i>Radio Control</i>
SOLAS	<i>Safety Of Life At Sea (convenção internacional)</i>
UAS	<i>Unmanned Aerial System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UGV	<i>Unmanned Ground Vehicle</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação e Contextualização do Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido integrando o trabalho desenvolvido *no Ocean Systems Group* do INESC TEC (Instituto de engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia E Ciência), grupo já com um sólido trabalho realizado no âmbito dos sistemas oceanográficos. O grupo dispõe já de soluções inteiramente desenvolvidas nomeadamente na área da robótica aquática com destaque para os veículos autónomos subaquáticos (*Autonomous Underwater Vehicles - AUV's*) e para os veículos autónomos de superfície (*Autonomous Surface Vehicles - ASV's*).

O projeto ICARUS aparece como um novo desafio a este grupo, e o presente trabalho aparece como um primeiro avanço no sentido desse desafio visando a construção de um primeiro modelo ASV protótipo com a finalidade de poder proporcionar alguns avanços, testar ideias, conceitos e topologias de ASV's e tecnologias associadas.

1.2 Projeto ICARUS - Enquadramento

O Projeto ICARUS (Integrated Components for Assisted Rescue and Unmanned Search operations) é um projeto de âmbito europeu que, interligando várias instituições e organizações de referência, tem como objetivo dotar os utilizadores finais (equipas de busca e salvamento europeias) de equipas cooperativas de veículos robóticos autónomos.

Estes veículos visam complementar os recursos que atualmente estas equipas de busca e salvamento já possuem no sentido de, em casos de risco mais elevado, este risco poder ser acarretado por estes veículos autónomos diminuindo desta forma o grau de risco associado às situações em que os membros dessas equipas (Humanos) teriam que se expor.

Para este objetivo final o projeto ICARUS consiste no desenvolvimento de tecnologia como sensores de deteção de humanos, veículos autónomos aéreos, terrestres e aquáticos para que estes possam servir em diversas situações de catástrofe em diversos meios tanto aquáticos como terrestres. O Projeto prevê que no final de 2015 estas tecnologias estejam já

implementadas e operacionais complementando os meios que as equipas de socorro dispõem atualmente.

O projeto está organizado por objetivos e respetivos pacotes de trabalho que estão associados a uma ou várias das vinte e quatro entidades europeias. Destas entidades encontram-se presentes grupos de investigação e desenvolvimento como é o caso do INESC, *ETH Zurich*, *NATO NURC*, entre outras, entidades publicas relacionadas com assistência de vitimas como é o caso da *Belgian First Aid and Support Team*, etc. e entidades privadas como por exemplo a *ESRI-Portugal*, *Calzoni*, entre outras.

Os Objetivos do Projeto ICARUS são:

1. Desenvolvimento de sensores capazes de detetar seres humanos.
2. Desenvolvimento de UAS (Unmanned Aerial System) cooperativos para operações de Busca e Salvamento não tripuladas.
3. Desenvolvimento de UGV's (Unmanned Ground Vehicles) cooperativos para operações de Busca e Salvamento não tripuladas.
4. Desenvolvimento de ASV (Autonomous Surface Vehicles) cooperativos para operações de Busca e Salvamento não tripuladas.
5. Colaboração heterogénea entre os robôs e dispositivos para operações de busca e salvamento não tripuladas.
6. Desenvolvimento de uma rede *wireless* cognitiva auto-organizada capaz de assegurar interoperabilidade em rede.
7. Integração das ferramentas autónomas de busca e salvamento nas forças de busca e salvamento humanas.
8. Desenvolvimento de um sistema de treino e apoio das ferramentas autónomas de busca e salvamento desenvolvidas para as equipas humanas de busca e salvamento.
9. Comunicação e divulgação dos resultados do projeto.

Estão previstos vários cenários de catástrofe em diferentes meios, tanto em terra com ocorrência de incêndios, terremotos, furacões, etc, como no mar com a ocorrência de naufrágio e/ou existência de um ou vários naufragos.

Para estes tipos de situações, tanto em terra ou no Mar, estão a ser desenvolvidos na Suíça no Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (*ETH Zurich*) os sistemas/veículos aéreos não tripulados (UAS/UAV).

Para atuação em terra, UGV's estão a ser desenvolvidos na Alemanha na UKL (*University of Kaiserslautern*) para operarem em vários tipos de cenários.

Para situações de busca e salvamento especificamente em meio aquático o projeto prevê a construção de dois ASV's, um de pequenas e um de médias dimensões. O de médias dimensões servirá para localização e seguimento de naufragos mas principalmente para transporte e lançamento do ASV de pequenas dimensões. Este maior ASV está a ser desenvolvido pela *Calzoni* em Italia e o ASV de menores dimensões está a ser desenvolvido em Portugal pelo INESC.

Os sensores para detecção de humanos estão a ser desenvolvidos na Suíça pela Universidade de Neuchâtel. Estes sensores serão constituídos essencialmente pela combinação de duas câmaras que se irão complementar. Uma primeira de Infravermelhos QCD (Quantum Cascade Detector) de baixa resolução (128x128 pixels arranjados em pequenos *arrays 2x2 single ships*), alta sensibilidade, pequena e leve com comprimentos de onda de detecção de 8 μm . A segunda câmara é Micro-bolométrica de alta resolução e pequena sensibilidade, mais pesada que a anterior (mínimo 500g), com dimensões consideráveis (12x12x6 cm) e com um consumo energético a rondar os 5W. Estes dois dispositivos serão combinados e serão criados algoritmos de detecção de humanos baseados nestas câmaras.

A estratégia coordenativa para operações de busca e salvamento em cenário marítimo é: numa fase inicial os UAV's, apetrechados com sensores para detecção de humanos, realizam o varrimento da zona onde é provável encontrar náufragos. Quando um destes UAV's consegue localizar um náufrago manda as coordenadas GALILEO do mesmo para a base. A Base recebendo esta informação fará deslocar até ao local um ASV de média dimensão também equipado com sensores de detecção humana, para detecção e seguimento de náufragos, algoritmos de planeamento de missão e rota, detecção e desvio de obstáculos, entre outros. Ao aproximar-se desta localização o ASV procura detetar a localização exata do náufrago e faz o lançamento de um segundo ASV, de pequenas dimensões.

Este segundo ASV está também equipado com tecnologia para detecção de humanos e será este que irá interagir diretamente com os náufragos providenciando uma espécie de balsa-salva vidas que permitirá a flutuação, hidratação, nutrição e regularização da temperatura do náufrago, assim como permite conhecer a sua localização por parte dos operadores na base.

Tudo isto permitirá aumentar assim as probabilidades de longevidade de sobrevivência do náufrago, diminuindo riscos de afogamento, hipotermia, desidratação, insolação ou exaustão, assim como aumenta a rapidez do resgate devido à sua conhecida localização, logo que as condições atmosféricas, marítimas ou de visibilidade o permitam.

Como tal o objetivo da participação do INESC no projeto ICARUS consiste no desenvolvimento de um ASV para ser integrado nas equipas robóticas multidisciplinares de busca e salvamento já descritas, por forma a complementar os meios e recursos que as equipas de busca e salvamento dispõem atualmente.

1.3 Descrição do Projeto

Tal como mencionado no capítulo anterior o objetivo da participação do INESC no projeto ICARUS consiste em desenvolver a médio prazo um ASV totalmente funcional que possa ser integrado em equipas robóticas multidisciplinares de busca e salvamento aquáticas por forma a complementar os meios e recursos que as equipas dispõem atualmente.

O objetivo desta dissertação é então, no sentido do projeto ICARUS, desenvolver um primeiro protótipo ASV que sirva como base para testes a diferentes possibilidades tecnológicas e a diferentes configurações de ASV's. Este protótipo além de poder ser controlado remotamente, será capaz de autonomamente executar missões previamente programadas, constituídas por manobras de complexidade média, nomeadamente deslocação até um determinado ponto, seguimento de linhas, ancoragem num determinado ponto fixo (contrariando influências de ventos e correntes).

Para este objetivo o protótipo terá que ser capaz de comunicar e interagir com o mundo exterior, enviando dados e recebendo comandos, conseguindo assim a partir de uma base em terra monitorizar, controlar e comandar o veículo.

Através do equipamento a bordo, o veículo saberá a sua localização, orientação e velocidade. Com esta informação e sua evolução, o veículo conseguirá deslocar-se, atuando sobre cada um dos motores, por forma a conseguir executar as missões autonomamente conseguindo atingir os objetivos propostos para cada missão.

A figura 1.1 apresenta um modelo 3D do protótipo ASV a desenvolver. Este modelo será constituído essencialmente por uma parte que estará sempre à superfície essencialmente constituída pela plataforma de flutuação e alguma eletrónica a bordo, e outra parte que estará submersa onde estarão os propulsores, baterias e alguma eletrónica associada aos mesmos.

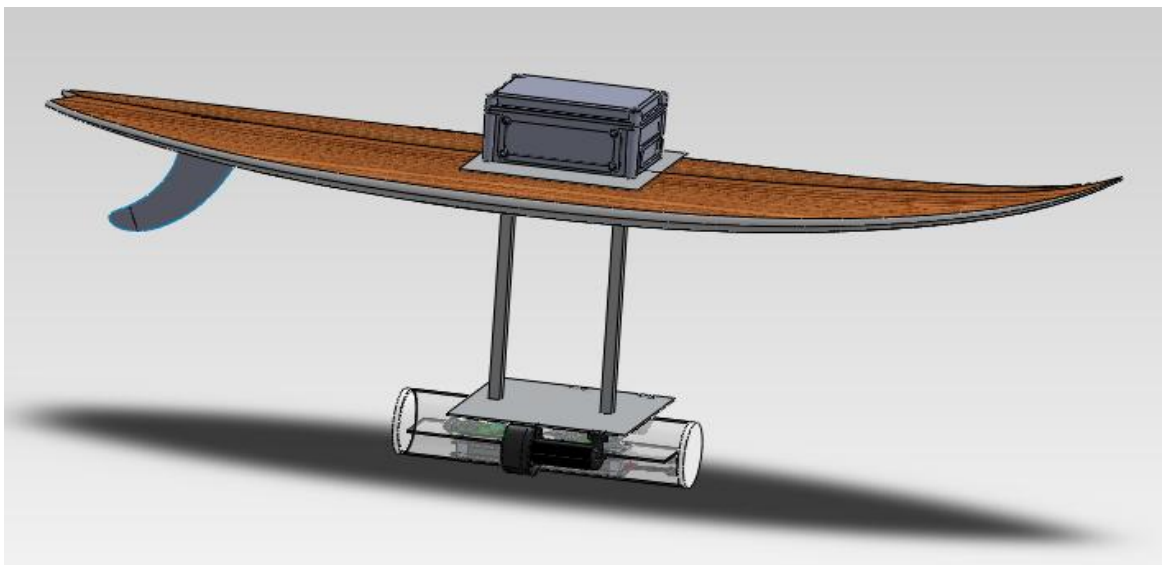


Figura 1.1 - modelo 3D do protótipo a desenvolver

A parte que está à superfície é constituída pela plataforma de flutuação, que poderá ser uma prancha de *bodyboard*, *surf* ou uma prancha de salvamento aquático por exemplo. Nesta plataforma será integrada uma caixa de eletrónica onde estará a maioria da eletrónica do ASV, contendo o sistema computacional, sistemas de navegação e sistemas de telecomunicações com a base e outros veículos.

Submerso encontram-se o sistema de propulsão, as baterias e alguma eletrónica associada aos mesmos.

A figura seguinte representa a arquitetura geral do ASV a desenvolver.

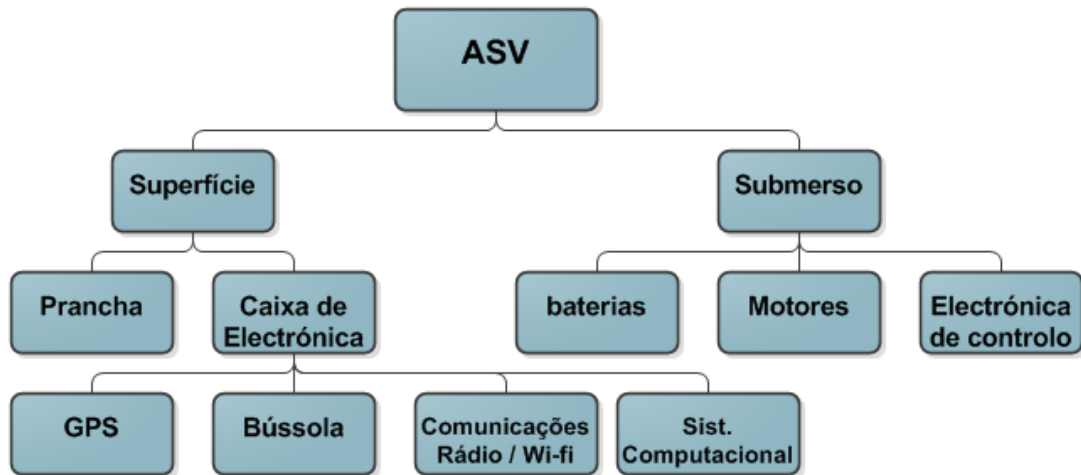


Figura 1.2 - Arquitetura geral do sistema

A arquitetura desta configuração física do ASV tem a particularidade de permitir um centro de flutuação perto da superfície e ter um centro de massa bem submerso, garantindo um significativo afastamento entre eles. Isto permite grande estabilidade do veículo e o regresso sempre à posição correta de estabilidade em caso de condições marítimas e atmosféricas adversas. É uma configuração ainda muito pouco testada no panorama dos ASV's e este veículo servirá também de teste a esta topologia de ASV's. Com esta configuração pretende-se que o veículo seja capaz de navegar mesmo com condições marítimas adversas inclusive com forte ondulação.

1.4 Organização do Documento

Durante este documento será apresentado todo o trabalho realizado durante este projeto.

Após o capítulo introdutório onde o projeto e o seu enquadramento são descritos, no capítulo 2 é apresentado o levantamento bibliográfico realizado. Inicialmente é apresentada uma tabela que reflete toda a pesquisa efetuada relativamente a vários tipos de ASV's desenvolvidos e as suas características. Depois são apresentadas algumas conclusões sobre esse levantamento e apresentado um estado da arte das várias tecnologias associadas a este tipo de veículos. Por fim neste capítulo é apresentado um estado da arte para ASV's com aplicações específicas para busca e salvamento, assim como é apresentado um pequeno levantamento sobre balsas salva-vidas e tecnologias incorporadas.

Os capítulos 3, 4 e 5 apresentam o ASV desenvolvido no âmbito desta dissertação. O capítulo 3 apresenta a Eletrónica a bordo do ASV organizada nos diferentes sistemas em que se insere nomeadamente Sistema Computacional, Sistema de Propulsão, Sistema de Energia e Sistema de Comunicações.

O capítulo 4 apresenta a estrutura mecânica do ASV separando esta estrutura em parte emersa e parte submersa apresentados em dois diferentes subcapítulos.

No capítulo 5 é apresentado o *software* a bordo. É apresentada a arquitetura geral do *software* e descrito mais especificamente cada um dos módulos do software nomeadamente Controlo e Supervisão, Navegação, *Drivers*, Comunicação e *Data Logging* e Simulação.

No capítulo 6 são apresentados os testes a que o sistema desenvolvido foi submetido e respectivos resultados. Estes testes e resultados encontram-se organizados em testes em simulação, testes à estrutura mecânica e por fim testes funcionais.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido. É apresentada uma síntese do trabalho realizado onde são apresentados os objetivos alcançados em função do proposto inicialmente, algumas conclusões sobre esse trabalho e os maiores desafios ao seu desenvolvimento. São ainda apresentadas propostas de trabalho e desenvolvimento futuros através da identificação de alguns pontos críticos, identificação de desenvolvimentos a curto prazo quer a nível mecânico quer a nível funcional assim como são apresentados alguns pontos a trabalhar e a melhorar a médio prazo.

Capítulo 2







Estado de Arte

Neste capítulo de levantamento do Estado da Arte e revisão da literatura estão apresentados os resultados desta fase do projeto que consistiu em reunir informações sobre o que foi desenvolvido até ao momento e o que está a ser desenvolvido na área dos veículos autónomos de superfície (ASV's) de pequenas e médias dimensões. Onde foram estudados vários tipos de ASV's, o seu grau de desenvolvimento, as suas aplicações, as tecnologias e as formas de inteligência associadas. A partir desse estudo foi também realizado um Estado da Arte das principais tecnologias e configurações associadas a veículos deste género. Após esse levantamento de ASV's de aplicações generalizadas e suas tecnologias foi realizado um levantamento de ASV's com aplicações especificamente para busca e salvamento em meio aquático assim como um levantamento de balsas salva-vidas, suas características, meios e tecnologias incorporados.

2.1 Levantamento de ASV's desenvolvidos e suas características

São apresentados na tabela 1 vários ASV's desenvolvidos nos últimos anos juntamente com as suas principais características nomeadamente: dimensões como o comprimento, largura, altura e volume de deslocamento de água; tipos de propulsão, motores e nalguns casos também a sua alimentação (elétrica a baterias ou de combustão); autonomia; velocidades alcançadas; possibilidade de operação em alto mar; principais tipos de equipamentos transportados a bordo; tipos de navegação; e por fim o tipo de aplicações de cada modelo apresentado.

Tabela 2.1 - ASV's: levantamento de modelos e características

Modelo/ Fabricante	Imagem	Criação	Dimensões (comp, larg, alt, vol_desl)	Propulsão / motores e energia	Autonomia	Velocidade	Operação no Mar	Equipamentos Transportados	Navegação	Aplicações
UMV-H/ Yamaha [1][2]		2004	(4.44m, 1.84m, -, 0.45t)	Motor elétrico de propulsão de 90KW a jacto hídrico	-	40kn	Sim	Câmaras subaquáticas e equipamento sonar	Mapa GPS + câmara e sonar subaquáticos	Vários tipos de missões com necessidade de alta velocidade. Pode ser manned ou unmanned.
SSC Pacific USV / SPAWAR - US Navy [3][1][4][5]		2005	(6m, 2.44m, -, -)	Motor de combustão - jacto hídrico	109 milhas	43kn	Sim	Sensores: lidar; monocular e <i>stereo vision</i> ; radar, etc. para suporte da navegação e desvio de obstáculos	Cartas Náuticas digitais + AIS (Automatic Identification System (GPS+transmissor VHF+inerencial)) + desvio de obstáculos (lidar+visão+radar)	I&D de algoritmos de navegação e desvio de obstáculos
Spartan / US Navy [6] [1] [7]		2005	(7m, 3m, -, 4t)	Water Jet (2x Kamewa FF310) / motores de combustão (2x Yanmar 6L3A- STP 295kW)	8h	>30kn	Sim	Equipamento bélico desde equipamento anti veículos submarinos e de superfície, <i>machine guns</i> , etc.	GPS + sistema Inercial	Militares
Ocean Explorer / UOV (Verginia - USA) [8][9][1]		2007	(5 a 10m, 3m, -, -)	Hélices / Motor Híbrido (Vento, Sol e motor elétrico de propulsão)	1 semana (apenas bateria) 6 a 12 meses com eólica e solar	<8kn	Sim	Sonar, câmara de vídeo, Infravermelhos, sensores, sistema de comunicações e dispositivos em função das aplicações	GPS + Sistema Inercial+ desvio de obstáculos (capaz de navegar abaixo da superfície por longos períodos para evitar obstáculos, tempestades ou por descrição)	Já comercializado; várias aplicações possíveis desde oceanografia, vigilância, busca e salvamento.
ROAZ II / LSA - ISEP (INESC) [10][11][12]		2007	(4.5m; 2.2m; 0.5m; -)	Thrusters Seaeye SI-MCT0 (hélices) / 2 motores controláveis (<i>trolling</i>) Minnkota e Baterias AMG 12V	6h	2.3kn (1.2m/s)	Apenas com águas calmas	Antena Wi-Fi; wireless vídeo <i>link</i> ; antena GPS; câmara de vídeo dia/noite e câmara termográfica de infravermelhos; <i>multibeam</i> e <i>sidescan</i>	GPS + IMU + Bússola	Oceanografia; Vigilância; plataforma de suporte para investigação
Springer / University of Plymouth (UK) [13][14][15]		2008	(4m; 2.3m; -; 0.6t)	Hélices montadas nas extremidades traseiras de cada casco e impulsionadas por motores de 24v-135A e 33kg	-	3kn	Apenas com águas calmas	Dissipadores de calor; sensores de velocidade e profundidade; sensores de vazamento; unidade de monitorização ambiental (YSI6600)	GPS + 3 tipos diferentes de bússolas + sensor de profundidade	Recolha de dados ambientais e plataforma de suporte para investigação

2.2 Conclusões do levantamento de ASV's e análise das principais tecnologias

Com base no levantamento de ASV's efetuado e na análise dos resultados obtidos foram retiradas conclusões que são evidenciadas neste capítulo. A análise recaiu sobre as aplicações, o tipo de estruturas mecânicas e as tecnologias associadas nomeadamente tipos de propulsão, sistemas de alimentação energética, sistemas de posicionamento, sistemas inerciais, sistemas para desvio de obstáculos e tipos de sensores associados. Estas tecnologias foram alvo de uma análise um pouco mais profunda de forma a termos também um Estado da Arte para cada uma das principais tecnologias.

2.2.1 - Aplicações

A procura destes veículos tem vindo a aumentar por parte de diversos organismos em várias áreas. Destas áreas de destacar a área militar que inicialmente impulsionou a I&D deste tipo de veículos de superfície. Além da aplicação militar as aplicações mais comuns para ASV's são a vigilância de docas, recolha de dados oceanográficos ou meteorológicos, ou simplesmente para I&D como maquetas de teste para algoritmos de controlo, locomoção, posicionamento, desvio de obstáculos, etc. Na área das embarcações para operações de busca e salvamento existe ainda muito pouco trabalho desenvolvido, sendo uma área em expansão mas ainda numa fase embrionária, tendo como singular e um dos principais desafios o desenvolvimento de sistemas e sensores que permitam a localização de náufragos.

2.2.2 - Estrutura mecânica

Alguns dos ASV's que têm vindo a ser desenvolvidos são apenas adaptações de embarcações já existentes no mercado, tripuladas, às quais apenas foram feitas adaptações no sentido de as tornar autónomas e de as equipar conforme a sua aplicação. Exemplo disso é o modelo apresentado *SSC pacific* desenvolvido pelo centro norte-americano *SPAWAR SSC Pacific (Space and Naval Warfare Systems Center Pacific)* que é uma adaptação de uma embarcação desportiva disponível no mercado do modelo *SeaDoo Challenger 2000*.

No entanto a maioria dos modelos estudados foram criações originais sendo para isso necessário definir o tipo de estrutura mecânica (casco) mais adequado a cada modelo em função das suas funcionalidades e do tipo de ambientes em que poderá operar. A este nível é possível diferenciar duas estruturas básicas de casco: os cascos de deslocamento e os planantes.

O primeiro tipo: os cascos de deslocamento (barcos de fundo plano) são comuns em embarcações que não têm que navegar a velocidades elevadas, são geralmente mais baratos aquando da sua construção e têm um desenho com um fundo raso. Estes cascos são sustentados pelo peso da água que fazem deslocar.

Dentro dos cascos planantes existem vários tipos como os cascos com fundo em V, fundo redondo e multicasco como são os catamarãs (dois cascos paralelos) e trimarãs. Relativamente aos cascos de deslocamento, as embarcações com cascos planantes normalmente são mais estáveis e têm uma navegação mais suave em condições de navegação com águas agitadas.

2.2.3 - Propulsão

A nível dos tipos de propulsão, podemos verificar que os mais comuns são os propulsores com hélices ou propulsores a jacto hídrico (*Water-jet*).

Estes últimos normalmente encontram-se em embarcações para atingirem maiores velocidades e/ou maior manobrabilidade, são propulsores potentes que requerem um consumo energético mais elevado em relação aos propulsores em hélice. Estes propulsores com hélices, normalmente estão implementados em veículos que não operam em velocidades tão elevadas. Em relação aos primeiros são mais eficientes, mais baratos, no entanto mais lentos e permitem uma menor manobrabilidade, têm uma menor densidade de potência (relação potência / Volume) e por fim por terem associado um ruído maior são mais facilmente detetados através de sonares [38].

2.2.4 - Motores

Estes propulsores estão associados a motores que tanto podem ser de combustão como elétricos. Os motores de combustão conseguem atingir normalmente maiores potências mas os motores elétricos podem atingir potências numa gama bastante díspar sendo também possível atingirem elevadas potências e velocidade como é o caso do modelo UMV-H da Yamaha que com um motor elétrico de 90Kw consegue chegar aos 40 nós (74,08 km/h).

Para determinadas aplicações onde as velocidades de operação são baixas os motores normalmente são elétricos, alimentados a baterias e em alguns casos é possível carregar estas baterias em operação através de energias como solar e eólica. Com a evolução verificada nos últimos anos na área do armazenamento de energia e da produção destes tipos de energias, tem-se verificado que a gama de utilização destas tecnologias tem vindo a expandir-se e que cada vez mais soluções deste género são implementadas quer em sistemas de baixa quer de alta potência associada.

2.2.5 - Baterias

Ao nível das baterias, atualmente as baterias normalmente mais indicadas para este tipo de aplicações são baterias de iões de lítio ou baterias de polímeros de lítio em detrimento dos tipos de baterias mais usados há alguns anos atrás, ou para outras aplicações como as baterias de Ácido-chumbo ou as baterias baseadas em níquel. A tabela 2 faz uma comparação entre os diferentes tipos de baterias [24] [25].

Nesta tabela estão evidenciados os parâmetros mais relevantes na análise de dispositivos de armazenamento de energia. Nomeadamente a Energia e a Potência específica representam a energia (Wh) e a potência (W) que a bateria consegue fornecer em função do seu peso (kg). Por sua vez a densidade energética é a energia que a bateria consegue dispor em função do seu volume (dm³). A medida da eficiência representa a relação percentual entre a energia fornecida pela bateria numa descarga e a energia usada para restaurar os níveis originais de carga durante a fase de carregamento. O tempo de carregamento representa o tempo que uma bateria necessita para se recarregar completamente. A auto-descarga (% mês) é a perda de capacidade durante a fase de armazenamento devido a perdas internas de correntes entre as placas positivas e negativas. Por último o número de ciclos de

vida é o número de ciclos completos de carga-descarga que a bateria consegue suportar sem que a sua capacidade nominal desça a um valor inferior a 80% da sua capacidade inicial [24].

Tabela 2.2 - Comparação de diferentes tipos de Baterias [25]

Tipo de Bateria	Energia específica (Wh/kg)	Densidade energética (Wh/dm ³)	Potência específica (W/kg)	Eficiência (%)	Tempo de carregamento (h)	Auto-descarga (% mês)	Ciclos de vida (n°)
Ácido chumbo	35 - 50	60 - 80	120 - 180	70 - 92	8 - 16	3 - 4	500 - 800
Ni-MH	30 - 80	140 - 300	150 - 400	66	2 - 4	>20	1000
Iões de Lítio	90 - 160	220-270	1800-3000	94	2-4	5-10	1200
Polímeros de Lítio	130 - 200	250-300	3000+	97	2-4	5-10	500-1000

Comparando especificamente as baterias de iões de lítio ou de polímeros de lítio, estas últimas evidenciam vantagens como menores dimensões e peso para a mesma energia, maior eficiência e a sua forma pode ser facilmente ajustável à aplicação em causa pois os polímeros de lítio permitem às baterias serem bastantes maleáveis embora evidenciem um menor n° de ciclos de vida.

2.2.6 - Sistemas Computacionais

O sistema computacional é um dos pontos mais importantes no desenvolvimento do ASV pois é neste que todos os restantes sistemas tecnológicos estão implementados e é onde se encontra todo o poder de processamento. A título de exemplo para este tipo de projetos têm sido usados sistemas computacionais baseados em *PC/104*, processadores *ARM* ou microcontroladores, como a plataforma *Arduino* por exemplo.

Soluções baseadas em *PC/104* são as mais poderosas computacionalmente, portanto também mais exigentes do ponto de vista energético. Tem a grande vantagem de ser modular e facilmente configurável em função das funcionalidades pretendidas, comunicando facilmente com outros dispositivos externos. Suporta vários sistemas operativos como Windows ou Linux e pode ser programado em várias linguagens. Tem uma outra grande vantagem que é p facto de permitir, devido à sua grande capacidade de memória, o registo (log) de todos os eventos que ocorram e o registo de todas as variáveis, parâmetros associados a cada evento.

O sistema *ARM*, é um sistema computacional baseado em microcontroladores embebidos com características intermédias em relação às soluções descritas anteriormente, é compatível com *PC104* sendo menos exigente energeticamente. Os projetos desenvolvidos na faculdade apenas agora começam a integrar sistemas deste tipo sendo uma solução ainda pouco explorada neste âmbito

O Arduino é um sistema eletrônico para sistemas embebidos, baseado em microcontrolador, facilmente comunica com os restantes sistemas, é programado através de uma linguagem própria e de entre as diferentes soluções é a menos exigente energeticamente e menos poderosa computacionalmente, como a memória disponível é relativamente pequena terá maiores limitações no registo de todos os eventos, variáveis e parâmetros associados.

A opção pelo tipo de sistema computacional depende essencialmente do poder de computação necessários em função das funcionalidades tendo em conta que um maior poder computacional implica um maior consumo energético. Por exemplo, um sistema cuja navegação tem componente de processamento de imagem, ou a necessidade de registar (*logging*) todos os eventos e estados associados ao sistema, vão exigir um elevado poder de processamento sendo por isso natural a opção por um computador embebido ao invés de um microcontrolador.

2.2.7 - Navegação:

A navegação de um ASV é normalmente efetuada complementando sistemas de posicionamento como sistemas GPS, sistemas inerciais e sistemas para desvio de obstáculos.

2.2.7.1 - *Sistemas de Posicionamento:*

Em meio aquático e especialmente no caso de operações em mar, onde é menos usual a utilização de faróis ou balizas para localização, os sistemas de posicionamento são normalmente baseados em recetores GPS percebendo assim a posição global do veículo a cada momento. A precisão dessa localização depende do tipo de sistema GPS implementado. Com o GPS simples, economicamente mais acessíveis é possível obter precisões na ordem dos 3 a 4 metros. Utilizando sistemas de GPS diferenciais, mais caros mas com níveis de precisão mais elevados normalmente na ordem dos centímetros, podendo chegar a milímetros nos melhores casos.

2.2.7.2 - *Sistemas Inerciais:*

Estes sistemas podem ser muitas vezes referenciados como IMU (*Inertial Measurement Unit*) e têm como finalidade estimar a posição, orientação, velocidade e aceleração do veículo através de sensores como giroscópios, acelerómetros, bússolas e inclinómetros. Obtendo os dados sobre a velocidade e localizações anteriores é possível integrar e estimar a localização atual. Estes sistemas são bastante suscetíveis a erros e imprecisões sensoriais, que ao longo do tempo fazem com que o erro de estimação cresça. Como tal estes sistemas devem ser complementados com sistemas de posicionamento externos como GPS, balizas e faróis para corrigir a estimação da localização.

2.2.7.3 - *Desvio de Obstáculos:*

Os sistemas de desvio de obstáculos são baseados em sensores que permitem a deteção dos mesmos como câmaras de vídeo, sensores ou câmaras de infravermelhos, lasers, radares,

sonares, etc, complementados com algoritmos de desvio dos obstáculos detetados. Esses algoritmos têm uma vasta gama de complexidade podendo apenas consistir no contorno do obstáculo sempre pelo mesmo lado ou fazerem uma análise mais completa da situação e identificar formas mais eficientes de efetuar o desvio. Alguns veículos de superfície permitem operar também por algum tempo completamente submersos, como é o caso do modelo *Ocean Explorer* construído pela companhia norte-americana *UOV*. Isto permite efetuar o desvio de obstáculos não pela superfície mas também mergulhando e passando por baixo de obstáculos como grandes navios, petroleiros e qualquer outro tipo de grandes embarcações.

Um dos grandes desafios para a implementação e vulgarização deste tipo de veículos nas atuais frotas é a inexistência ainda de regras e regulamentos que permitam a navegação em águas nacionais e internacionais tanto de veículos tripulados como autônomos, a sua cooperação, comunicação e a gestão para a ocupação dos espaços. Neste sentido vários trabalhos têm vindo a ser desenvolvidos e ao longo tempo será natural que regulamentos comecem a surgir e a ser implementados quer em águas nacionais como internacionais.

2.2.8 - Sensores:

Tipicamente os sensores a bordo de ASV's como os que estão aqui a ser tratados podem ser divididos em quatro categorias: sensores de posicionamento e controlo, desvio de obstáculos, sensores de aplicação e sistema e sensores de comunicação.

Os primeiros estão associados aos sistemas de Posicionamento e Inerciais descritos acima.

Os sensores de desvio de obstáculos foram também abordados em cima aquando da descrição dos sistemas para desvio de obstáculos.

Ao nível dos sensores de aplicação, estes são os que permitem a obtenção da informação específica para o tipo de missão de cada ASV's. Por exemplo para ASV's com aplicações oceanográficas os sensores podem ser medidores de parâmetros da água como ph, temperatura, dados geoquímicos, poderão também estar dotados com sonares para mapeamento dos fundos, etc. No exemplo das aplicações militares ou de vigilância os ASV's poderão dispor de sensores para localização de alvos ou outras embarcações baseados em radar ou sonar, câmaras de vídeo e infravermelhos, etc. Caso um determinado ASV tenha uma finalidade específica de fazer a comunicação entre outras unidades os sensores associados aos sistemas de comunicação, como antenas Wi-Fi, antenas rádio, etc, fazem também parte deste terceiro grupo de sensores. Caso contrário poderá ser diferenciado um quarto grupo: os sensores de comunicação.

2.3 Levantamento de ASV's desenvolvidos para aplicações em busca e salvamento aquático.

O desenvolvimento de ASV's para aplicação em operações de busca e salvamento é uma área ainda embrionária com pouco trabalho desenvolvido até à data mas em franca expansão verificando-se a aposta globalizada de, a médio prazo, apetrechar as equipas de busca e salvamento em meio aquático com meios robóticos para complementar os meios que essas

equipas dispõem atualmente. De seguida estão alguns exemplos de projetos que estão a ser desenvolvidos.

Na Alemanha, a *Technical University of Berlin* está a desenvolver o Projeto *AGaPaS (Autonomous Galileo-Supported Rescue Vessel for Persons Overboard)* que se destina a elevar as probabilidades de salvamento em situação de “homem ao mar”, ou seja, quando um ou mais elementos de uma tripulação são atirados para fora da embarcação. O projeto toma em consideração todos os aspetos do processo de resgate desde o colete salva-vidas equipado com vários sensores e transmissores rádio, um veículo autónomo de resgate, sistemas de posicionamento baseados em *GALILIEO* e sistemas de lançamento e recuperação do veículo e náufrago. O veículo de resgate é um catamarã (figura 2.1) lançado da própria embarcação de onde caiu o náufrago. Esse lançamento é efetuado de forma automática quando o sistema percebe que houve um incidente através dos sensores do colete salva-vidas ao dar informação sobre a (dentro ou fora da embarcação). Quando lançado o veículo de resgate vai autonomamente em direção ao náufrago até chegar aos 10m onde será controlado remotamente. Ao alcançar o náufrago um sistema em gaiola (figura 2.2) vai congestionar o náufrago ao espaço no veículo e estabilizar as suas funções vitais fornecendo por exemplo calor. O Veículo juntamente com o náufrago são recuperados e será possível aplicar manobras de primeiros socorros [30][31].



Figura 2.1 - Veículo de resgate AGaPaS

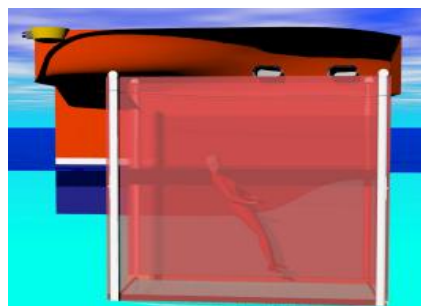


Figura 2.2 - Sistema em Gaiola

A companhia norte-americana do Arizona *Hydronalix* desenvolveu o *EMILY (EMergency Integrated Lifesaving lanYard)*, um veículo que visa completar e melhorar a ação dos nadadores salvadores nas praias. Foi desenvolvido inicialmente de forma a ser remotamente controlado mas foi adaptado e a partir de 2011 este é capaz de funcionar de forma autónoma. Lançado na água por uma pessoa na praia, de uma embarcação ou helicóptero é capaz de detetar os movimentos subaquáticos de uma pessoa em perigo através de equipamento sonar incorporado. O náufrago pode usar o veículo como meio de flutuação e locomoção, pois este automaticamente se dirigirá para terra. Está também provido de um

sistema de comunicação de forma a durante o resgate ser possível a comunicação entre nadador salvador e náufrago acalmado o mesmo. Através do sistema elétrico de propulsão por jacto hídrico atinge velocidades até 24knots (~45km/h) e consegue uma autonomia até 130km [26][27].



Figura 2.3 - EMILY

Outro Projeto que foi desenvolvido, mas que nunca passou de um protótipo, o *Seascout*, desenhado pelo designer neo-zelandês André Harley para a rede dinamarquesa *Robotclusters* em 2009. Este projeto consiste num modelo estilo catamarã com um espaço interior para transporte de náufragos, navegação por GPS diferencial e localização por sensores de infravermelhos. Pode ser lançado da praia, de uma embarcação ou de um helicóptero e pode atuar em diversas condições atmosféricas e marítimas tanto na costa como em alto-mar. Contem um sistema de comunicação por rádio nos dois sentidos e sistema de iluminação interior [28][29].

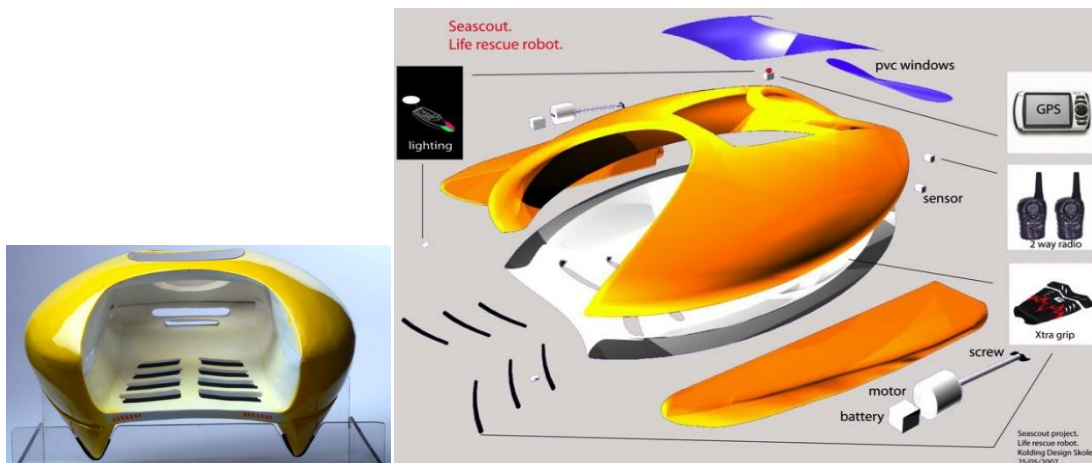


Figura 2.4 - Seascout

2.4 Levantamento de Balsa Salva-Vidas

Neste subcapítulo estão apresentadas as características de balsas salva-vidas que se podem encontrar nas embarcações atualmente. Estão apresentados os tipos, constituintes e as funcionalidades deste tipo de balsas.

A Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (*SOLAS - Safety Of Life At Sea Convention*) é um tratado internacional conseguido pela *IMO (International Maritime Organization)* [32] que regula e uniformiza os regulamentos marítimos de segurança. No seu terceiro capítulo (*Chapter III - Life-saving appliances and arrangements*) estão regulamentados os requisitos para os barcos, botes, balsas e coletes salva-vidas. A nível nacional as normas são regidas pela Diretiva Europeia para Equipamentos Marítimos [33].

Em todas as embarcações são obrigatórios equipamentos de segurança que podem ir desde coletes salva-vidas e boias de salvamento até balsas e botes salva-vidas. Ao nível das balsas salva-vidas estas estão divididas em 4 classes. As classes 1 e 2 para embarcações que naveguem em alto-mar e em percursos transcontinentais e as classes 3 e 4 que são as balsas mínimas para as embarcações mais pequenas que naveguem em zonas costeiras.

Existem balsas com vários tamanhos e capacidades diferentes que podem ir desde as 4 pessoas até às 25 pessoas. As balsas são insufláveis e antes de insuflarem estão armazenadas em sacos (valises) ou em contentores rígidos que podem ser cilíndricos ou retangulares. Estes podem ter pesos desde os 30kg até 180kg e dimensões desde 60x30x20 (cm) até 170x70x70 (cm). Quando abertas as dimensões são na ordem dos 2m de diâmetro por 2m de altura para 6 pessoas até aos 4,30m de diâmetro e 2,30m de altura para balsas para 25 pessoas [35][36][37].



Figura 2.5 - Saco e cápsula de armazenamento de Balsas Salva-vidas

Na figura 2.6 [34] está apresentada uma balsa salva-vidas de classe 1 com os principais constituintes evidenciados.

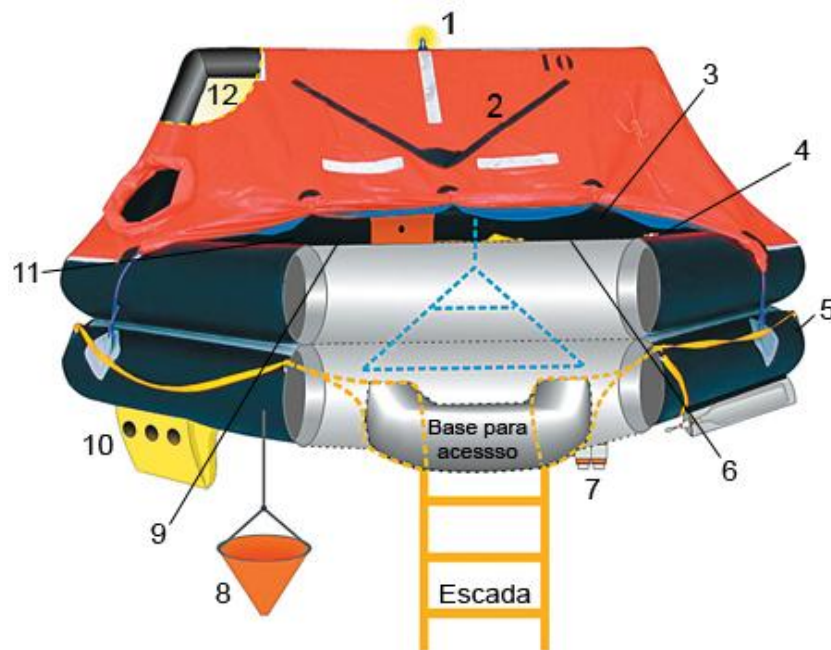


Figura 2.6 - Balsa Salva-vidas e componentes

Da figura 2.6 evidenciam-se os seguintes pontos:

1. Luz sinalizadora externa;
2. Coletores de água da chuva para posterior ingestão.
3. Material de sinalização: lanterna, apito, rockets, sinalizador pirotécnico de luz vermelha, sinais de fumo, refletor de radar.
4. Faca flutuante para cortar cabo balsa-embarcação.
5. Revestimento em *nylon* e *PVC*.
6. Mantimentos: comida (goma nutritiva) e água, abre-latas
7. Baterias
8. Âncora / patilhão.
9. Esponja e balde
10. Balsa de estabilização
11. Copos graduados
12. Luz interior.

Outros equipamentos que podem estar contidos nestas balsas são: remos, kit de primeiros socorros, heliógrafo, tabela de sinais, kit de pesca, pílulas e sacos anti enjoo, livros de instruções, equipamento de proteção térmica, canivete, bomba de insuflação e kit de reparações.

Capítulo 3

Eletrónica de bordo

Neste terceiro capítulo será descrita a eletrónica a bordo do ASV desenvolvido, será apresentado e explicado cada um dos componentes eletrónicos e suas interações. A eletrónica a bordo está organizada em diferentes sistemas, nomeadamente sistema computacional, sistema de posicionamento e orientação, sistema de propulsão, sistema de energia e sistema de comunicações. Cada um destes sistemas será apresentado em cada um dos seguintes subcapítulos.

3.1 Sistema Computacional

O sistema computacional é um dos pontos mais importantes no desenvolvimento do ASV pois é neste que todos os restantes sistemas tecnológicos estão implementados e é onde se encontra todo o poder de processamento. A título de exemplo para este tipo de projetos têm sido usados sistemas computacionais baseados em *PC/104*, processadores *ARM* ou microcontroladores, como a plataforma *Arduíno* por exemplo.

Dos exemplos dados, *PC/104* é a solução mais poderosa portanto também mais exigente do ponto de vista energético. Tem a grande vantagem de ser modular e facilmente configurável em função das funcionalidades pretendidas, comunicando facilmente com outros dispositivos externos. Suporta vários sistemas operativos como Windows ou Linux e pode ser programado em várias linguagens. Tem uma outra grande vantagem que é o facto de permitir, devido à sua grande capacidade de memória, o registo (*log*) de todos os eventos que ocorram e o registo de todas as variáveis, parâmetros associados a cada evento.

Os sistemas baseados em processadores *ARM*, são um sistemas computacionais baseados em microcontroladores embebidos com características intermédias em relação às soluções descritas anteriormente, é compatível com *PC/104* sendo menos exigente energeticamente. Os projetos desenvolvidos na faculdade apenas agora começam a integrar sistemas deste tipo sendo uma solução ainda pouco explorada neste âmbito.

A terceira solução, os microcontroladores como é o caso do *Arduíno* é um sistema eletrónico para sistemas embebidos, baseado em microcontrolador, facilmente comunica com

os restantes sistemas, é programado através de uma linguagem própria e de entre as diferentes soluções é a menos exigente energeticamente e menos poderosa computacionalmente, como a memória disponível é relativamente pequena terá maiores limitações no registo de todos os eventos, variáveis e parâmetros associados.

A opção pelo tipo de sistema computacional depende essencialmente do poder de computação necessários em função das funcionalidades tendo em conta que um maior poder computacional implica um maior consumo energético. Por exemplo, um sistema cuja navegação tem componente de processamento de imagem, ou a necessidade de registar todos os eventos e estados associados ao sistema (*logging*), vão exigir um elevado poder de processamento sendo por isso natural a opção por um computador embestado ao invés de um microcontrolador.

Neste projeto existiu a necessidade de registar todos os eventos ocorridos para o seu desenvolvimento. Por sua vez, a navegação complementada por imagem não foi implementada no entanto não está posta de parte a possibilidade de vir a ser implementada em desenvolvimentos futuros. Como tal existe a necessidade de algum poder de processamento e especialmente de armazenamento o que poderia ser um problema caso fosse implementado um sistema baseado em microcontrolador como é o Arduino. Também por ser uma solução mais testada e que já estava disponível no grupo de investigação optou-se por usar uma plataforma PC/104.

PC/104 (ou *PC104*) é um *standard* para computadores embestados que define tanto o barramento de dados entre as placas como o fator de forma (*form factor*) onde são especificadas as dimensões, tipo de fornecimento de energia, localização dos buracos de instalação entre outros. Isto permite a utilização de várias placas de diferentes tipos e fabricantes com garantia de compatibilidade.

Neste projeto foram utilizadas três placas empilhadas *PC/104* mais duas placas empilhadas para o suporte do disco de memória permanente (*Compact Flash*) e suporte do radio e Wi-Fi.

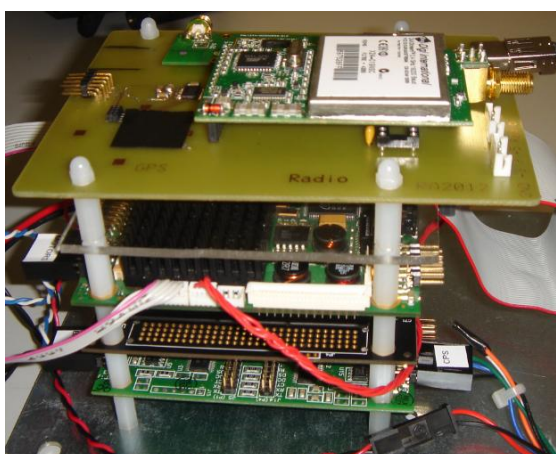


Figura 3.1 - Stack PC/104 instalada

De entre as placas *PC/104*, uma funciona como a fonte de alimentação das restantes, é um modelo *HE104-75W* da *Tri-M Engineering* que funciona como um conversor DC-DC com uma gama de entrada dos 6V aos 40V e saídas de +5V, +12V e -12V regulados, conseguindo

operar com temperaturas desde os -40 até aos 85°C. É um *design state-of-the-art* baseado em *Mosfets* conseguindo alta regulação na saída com eficiência acima dos 90%.

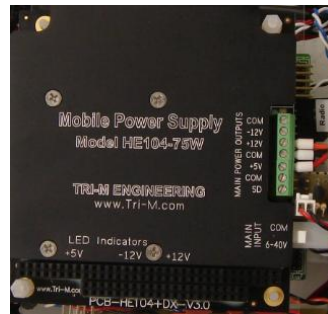


Figura 3.2 - Power Supply PC/104 HE104-75W

A placa mãe (motherboard), ou placa CPU, é um modelo *MOPSlcdVE* da *Kontron* com um processador *Via Eden* de 300 MHz, 32 MB de memória *RAM* com vários portos de entrada e saída nomeadamente para um monitor LCD (*JILI-Interface*), teclado e rato, duas portas USB, duas portas RS-23, *Ethernet*, e um *socket* para memória ROM onde foi inserido um cartão de memória *compact flash* de 4GB.



Figura 3.3 - Placa CPU Kontron MOPSlcdVE

A terceira e última placa usada foi uma *EMERAL-4M-XT* da *Diamond Systems Corporation*, que funciona como placa de quatro portas série configuráveis para diferentes protocolos de comunicação, nomeadamente RS-232, RS-422 e RS-485. Além do tipo de comunicações série é possível configurar os endereços das portas série assim como o *IRQ (interrupt level)* de cada uma delas. Estas configurações são todas realizadas através da colocação de vários *jumpers* em pinos específicos em função das configurações pretendidas.



Figura 3.4 - Placa EMERAL-4M-XT com 4 portas série configuráveis

Além destas placas a *stack* montada é constituída por mais duas placas, uma dela construída em acrílico unicamente para suportar e fixar o dispositivo de memória ROM (*Compact Flash*) e uma segunda para suportar o rádio, Wi-Fi e ainda, opcionalmente, o GPS.



Figura 3.5 - Placas de suporte para *Compact Flash* (Esquerda) e suporte de sensores (direita)

3.2 Sistema de Posicionamento e Orientação

O sistema de posicionamento é baseado num Recetor GPS que se encontra ligado fisicamente apenas ao sistema computacional (*PC/104*) por uma ligação USB. É este recetor o responsável por fornecer a localização em tempo real do robot e a partir destes dados se calculam o valor e direção da velocidade do robot. O recetor GPS usado foi o *SiRFstar III* da *Amaryllo* que consegue uma posição atualizada a cada segundo com uma precisão de aproximadamente 5 metros e comunica segundo o protocolo *GPS NMEA*.



Figura 3.6 - GPS *SiRFstar III*

Por sua vez o sistema de Orientação consiste numa bússola digital que é responsável por fornecer ao robot em tempo real a sua orientação. A bússola instalada é um modelo *OS5000* dos fabricantes *OceanServer*.

Esta bússola digital de baixo consumo (<30mA para 3.3V), de reduzidas dimensões (2,6x2,6x0,8 cm) e massa (duas gramas), permite obter a orientação segundo os 3 eixos possíveis de rotação através de acelerómetros e sensores magnéticos: rotação no plano horizontal (ângulo *Yaw*), rotação segundo o eixo lateral (ângulo *Pitch*) e rotação segundo o eixo longitudinal do robot (ângulo *Roll*), com uma resolução de 0.1 graus e uma precisão entre os 0.5 e 1.5 graus; além destes valores este dispositivo permitir obter o campo

magnético segundo as três orientações de referência (X,Y,Z) e a aceleração segundo essas orientações. Consegue conectar-se e comunicar por porta série RS-232 assim como através de USB-Série.

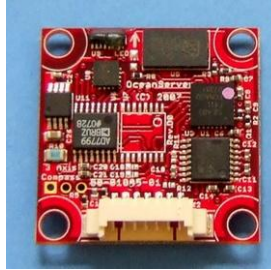


Figura 3.7 - Bússola *OceanServer OS5000*

3.3 Sistema de Energia

O sistema de energia do robot é baseado em duas baterias de íões de lítio recarregáveis do modelo *Inspired Energy NL2044* de 97Wh, com um peso de 618gramas cada uma e dimensões 285x58.9x22.3 (mm). Estas têm uma tensão nominal de saída de 14.4V conseguindo debitar até 77W de potência. Alimentam todo o sistema eletrônico constituído pelos motores, PC/104, GPS, Bússola, Wi-Fi e rádio.



Figura 3.8 - Baterias *Inspired Energy NL2044*

De seguida está apresentado um diagrama que representa o fluxo energético dentro do sistema. Desde as baterias à eletrónica submersa e aos motores, até à alimentação da eletrónica emersa.

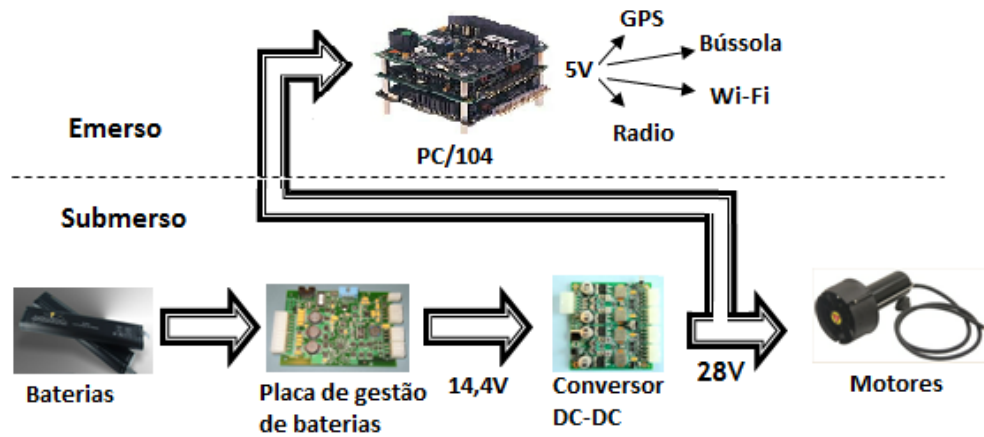


Figura 3.9 - Fluxo Energético dentro do ASV

Às baterias está associada uma placa de gestão das mesmas, totalmente configurável, do modelo *OceanServer BBDC-02R* que comunica com as baterias gerindo todos os aspetos da alimentação de um sistema com potência proveniente de baterias. Consegue carregar as baterias através de uma vasta gama de alimentação externa, gerir a potência entregue ao sistema e a sua proveniência (baterias ou alimentação externa), e consegue simultaneamente carregar as baterias e alimentar o sistema através de uma fonte externa de alimentação.

Para além destes dispositivos (baterias + placa de gestão) existe ainda uma placa de conversão DC-DC também da *OceanServer*, modelo *DC2U-1VR*, que com tensão de entrada na gama dos 12V até 24V permite obter níveis de tensão mais elevados à saída. As baterias fornecem uma tensão na ordem dos 14,4V e a placa de conversão permite obter à saída 19V, 24V, 28V ou 48V em função da sua configuração. Esta placa tem níveis de eficiência acima dos 96%. A placa foi configurada por forma a na saída se obter 28V que é a tensão necessária para alimentar os motores.

Por sua vez o sistema computacional (*PC/104*) é alimentado diretamente pelos 14,4V das baterias (diretamente da saída do módulo de gestão das mesmas) e permite através do módulo de alimentação obter os níveis de tensão mais baixos que são necessários para alimentar os componentes eletrónicos como os 5V, -5V, 12V e -12V. É a partir destas tensões de saída que todos os restantes componentes do *PC/104* e dispositivos conectados (GPS, Bússola, Wi-Fi e rádio) são alimentados.

3.4 Sistema de propulsão

O Sistema de Propulsão é baseado em dois propulsores *SBT150* da *Seabotix*. Estes propulsores podem atingir profundidades 150 metros, têm como dimensões 173x95x90 mm e um peso de 700g no ar e 350g em água.

Estes propulsores são baseados em hélices de 76mm de duas pás.

Nestes propulsores estão embebidos motores elétricos DC, com escovas (*Brushed*), com uma tensão nominal 28V, e uma corrente máxima de 5A em regime contínuo. Conseguindo atingir um máximo de 150W de potência alcançando assim um impulso de 2.40kg f. A tabela

seguinte é disponibilizada pelo fabricante e mostra o impulso alcançado por um propulsor em função da potência que lhe é fornecida

Tabela 3.1 - Propulsores: Impulso vs Potência

Direction	Voltage(DC)	Current Draw (A)	Thrust (kg)	Power (W)
Forward	28	0.000	0.09	0.00
	28	0.420	0.55	11.80
	28	1.320	1.17	37.10
	28	2.000	1.38	56.20
	28	3.240	1.84	90.70
	28	5.300	2.40	148.50
Reverse	28	0.000	0.07	0.00
	28	0.440	0.43	12.44
	28	1.120	0.87	31.42
	28	2.500	1.40	70.20
	28	4.000	1.89	111.90
	28	5.210	2.25	145.90

A estes propulsores foi associada uma placa eletrónica RoboteQ AX3500 que permite receber os comandos por comunicações série RS-232 e através de ondas PWM (Pulse Width Modulation) controlar a rotação dos motores.



Figura 3.10 - Propulsor Seabotix SBT150

3.5 Sistema de Comunicações

O sistema de comunicações é o sistema que permite ao ASV interagir com o mundo exterior sendo então o responsável pela comunicação entre o veículo e uma base em terra permitindo desta forma monitorizar e controlar o decorrer da missão pré-programada assim como permitindo o envio de comandos em tempo real para o veículo a partir da base.

Esta comunicação poderá ocorrer com base em duas diferentes tecnologias: *Wi-Fi* para comunicações a curta distância e rádio para comunicações a média distância.

Para qualquer um dos tipos de comunicação é apenas necessário incorporar um dispositivo eletrónico, ou seja uma pequena placa eletrónica, associada a uma antena de receção e emissão de dados. No caso do Wi-Fi este equipamento permitirá ao ASV conectar-se a uma rede local *wireless*. Com um computador ligado à mesma rede local poderá comunicar com o veículo podendo servir como base de monitorização e controlo. No caso das comunicações rádio, são esses dispositivos que permitem a comunicação através de ondas eletromagnéticas de determinada frequência com outro dispositivo na base.

Capítulo 4

Estrutura Mecânica

Neste capítulo está descrita a estrutura mecânica do ASV desenvolvido que serve de suporte à tecnologia a bordo.

A estrutura mecânica do protótipo é essencialmente constituída à superfície pela plataforma de flutuação onde está embebida uma componente eletrónica protegida por uma caixa de policarbonato. Submerso estão os propulsores e suportados por uma estrutura de alumínio que suporta também um tubo de acrílico onde estão alojadas as baterias assim como a eletrónica associada a estes elementos.

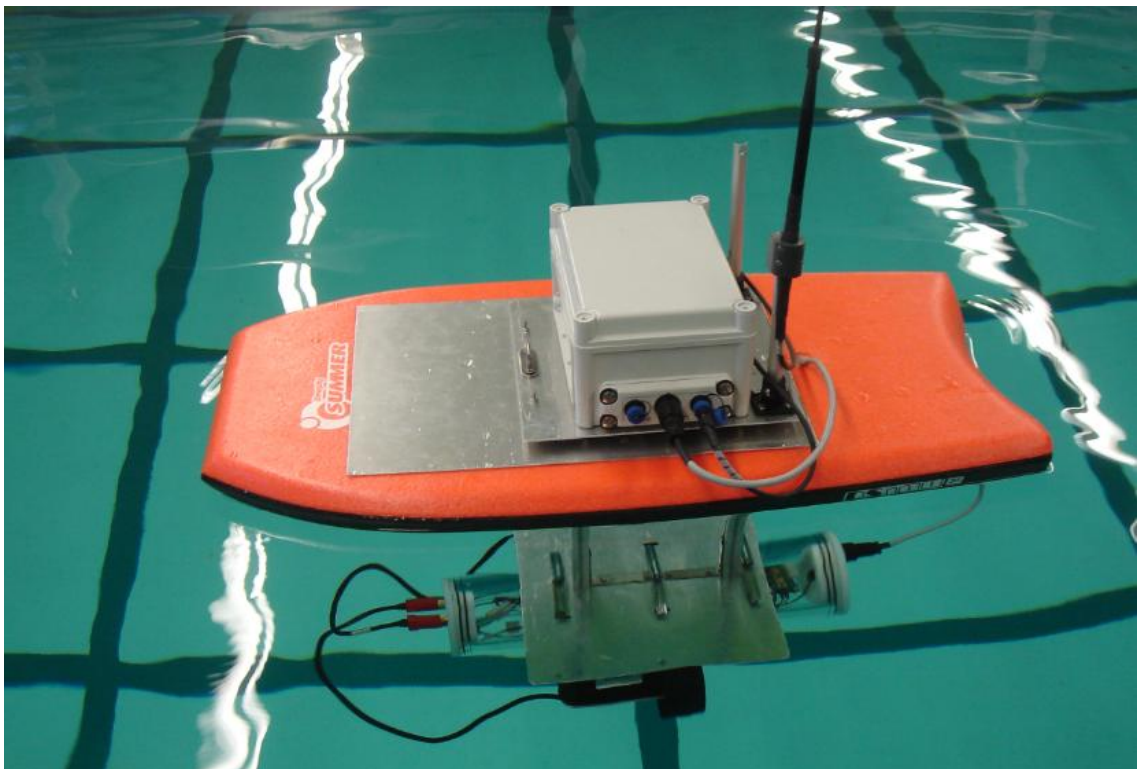


Figura 4.1 - ASV desenvolvido

Esta configuração física do ASV tem a particularidade de ter um centro de flutuação perto da superfície e ter um centro de massa submerso, garantindo um significativo afastamento entre eles. Isto permite grande estabilidade do veículo e permite o regresso sempre à posição de estabilidade em caso de condições marítimas e atmosféricas adversas. É uma configuração ainda muito pouco testada no panorama dos ASV's e este veículo servirá também de teste a esta configuração física de ASV's. Com esta configuração pretende-se que o veículo seja capaz de navegar mesmo com condições marítimas adversas inclusive com forte ondulação.

A estrutura é modular permitindo facilmente o desmantelamento parcial para facilitar a logística de montagem, desmontagem, transporte e ajustes nos sistemas eletrónicos. Facilmente é separada a parte à superfície da estrutura subaquática (figura 4.2) o que permite o transporte e armazenamento de diferentes formas e em espaços mais reduzidos. A eletrónica tanto à superfície como submersa é facilmente acessível e retirada do veículo. Para aceder à eletrónica à superfície basta retirar o tampo da caixa à superfície, e se quisermos retirar toda a eletrónica basta desconectar três conectores e retirar o painel de montagem onde toda esta está fixa, bastando para isso desaparafusar 4 parafusos e simplesmente retirar esse painel onde está toda a eletrónica. Quanto à eletrónica que se encontra submersa, para esta ser acessível basta retirar uma das tampas (*end caps*) do tubo de acrílico, desconectar os conectores que se encontram à entrada do tubo e todo o interior do tubo fica livre podendo ser retirado sem qualquer esforço.



Figura 4.2 - Desmantelamento mecânico do ASV em dois módulos

4.1 Parte Emersa do ASV

A parte que está à superfície é constituída pela plataforma de flutuação. Nesta plataforma foi integrada uma caixa de electrónica onde estará a maioria da electrónica do ASV, nomeadamente o sistema computacional PC/104, sistemas de navegação (GPS + Bussola digital), e sistemas de telecomunicações com a base e outros veículos (rádio + Wi-Fi).

A plataforma de flutuação utilizada neste trabalho consiste numa espécie de prancha de *bodyboard* adaptada.

A prancha tem dimensões 91x46x7 centímetros e é constituída pelo núcleo interno (*Core*) de poliestireno expandido (EPS), sendo revestida na face em contacto com a água (*slick skin*) por polietileno de alta densidade (HDPE), a face oposta a esta, ou seja a face superior (*Deck*), e as faces laterais (*Rails*) são por sua vez constituídas por Polietileno.



Figura 4.3 - Prancha de *Bodyboard* utilizada

A opção por este tipo de prancha foi tomada para os primeiros testes ao robot e posteriormente pretende-se evoluir para uma prancha maior e com maior estabilidade e hidrodinâmica como por exemplo uma prancha de surf por forma a se adaptar melhor a condições marítimas mais fortes.

As adaptações na prancha de *bodyboard* foram no sentido de ser possível fixar à mesma a estrutura submersa e a caixa contendo a electrónica embebida à superfície assim como a possibilidade de ser atravessada pela cablagem que teria que ligar os componentes submersos aos componentes à superfície.

Essa adaptação consistiu em furar a prancha e nas suas duas faces principais fixar duas placas de alumínio permitindo nestas placas a fixação de tudo o que seria necessário. Os furos foram realizados com recurso a materiais e máquinas disponíveis na oficina do departamento nomeadamente as colunas de furação que permitiram fazer furos perpendiculares ao plano principal da prancha, brocas e martelos possibilitando alargar os buracos com o diâmetro pretendido sem deformar e corromper o material como aconteceria com o uso de brocas em rotação nas colunas de furação. Foram abertos quatro furos onde atravessariam varões roscados que depois prenderiam as placas de alumínio que estão fixadas às faces superior e inferior da prancha. Os varões roscados são de tipo M5 (ou seja, 5 mm de espessura). Um quinto furo foi aberto mais largo (3 cm de diâmetro) no sentido de ser atravessado pelo cabo de 8 condutores que liga toda a electrónica à superfície com a electrónica submersa.

Este quinto furo de maior dimensão foi revestido com parafina que após aquecida e derretida foi revestir o poliestireno expandido que de outra forma estaria em contacto direto com a água, permitindo assim uma maior proteção e rigidez ao material e menor permeabilidade. Uma outra possibilidade para este fim seria o revestimento com resina epóxi mas sendo a parafina uma solução mais económica e mais prática, no sentido em que não é necessário esperar cerca 24h para que volte a solidificar, e com resultados também satisfatórios foi o material usado para o fim desejado. Por sua vez outra solução que poderia ser vantajosa para pranchas de outros tipos de materiais é a resina poliéster mas esta em contacto com o poliestireno expandido faz com que o mesmo derreta instantaneamente.

As placas de alumínio fixas às faces superior e inferior da prancha têm uma espessura de 2mm. A placa superior tem de dimensões 45cm por 35cm e a placa inferior tem de dimensão 32cm por 20cm e estão dispostas tal como mostra a figura seguinte.



Figura 4.4 - Adaptações à prancha: furação da prancha e fixação das placas de alumínio

Uma terceira placa de alumínio foi fixada paralelamente à placa na face superior da prancha, disposta a uma distância de um centímetro da mesma permitindo que entre estas haja espaço para porcas que servirão para fixar a caixa de polycarbonato onde estarão instalados o sistema computacional, os sensores GPS e bússola digital, e os recetores Wi-Fi e rádio. Esta placa tem como dimensões de 30 por 30cm e 2mm de espessura.

A caixa de polycarbonato (onde estão instalados o sistema computacional, os sensores GPS e bússola digital, e os recetores Wi-Fi e rádio) tem dimensões 280x190x130 mm necessárias para dispor toda a eletrónica que transporta. É do modelo *EKJB 130 G* da *FIBOX*. É uma caixa totalmente impermeável com tampo removível para acesso ao interior. Um dos painéis laterais foi assolado para que no invés deste um painel maquinado fosse instalado para que cabos e antenas pudessem atravessar a parede sem se perder a impermeabilidade da caixa.

O painel é do modelo *FIBOX MB 10215 gb flansch set* com um vedante incorporado. O painel vem com quatro parafusos que, segundo o fabricante, conseguem a impermeabilização

durante 24h a 25 metros de profundidade. No sentido de se conseguir uma maior garantia de impermeabilização a longas durações foram instalados quatro vedantes de ½” normalmente usados em torneiras comuns.

Usando a fresadora CNC de três eixos que está nas oficinas do laboratório, o painel foi maquinado por forma a ser instalado um conector *Bulgin Mini Buccaneer* de 8 condutores onde entra o cabo proveniente da parte submersa, e dois conectores *Bulgin Buccaneer RF* para nestes se instalarem as antenas rádio e Wi-Fi que necessitam de estar no exterior para receber propriamente o sinal.



Figura 4.5 - Painel lateral com conectores para cabo e antenas

Estes conectores são próprios para serem instalados em superfícies que fazem a transição entre ambientes secos e molhados, conseguindo através de um sistema de vários vedantes que a água não transponha essa superfície e entre no ambiente que se pretende totalmente seco onde estão alojados os componentes eletrônicos, permitindo que a superfície seja atravessada por vários tipos de cabos e antenas.

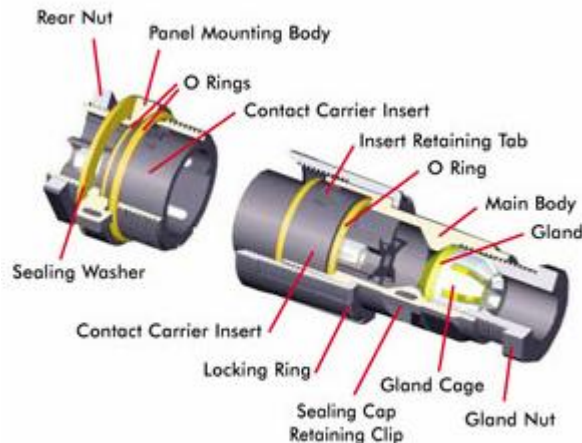


Figura 4.6 - Conectores seco-molhado *Bulgin Mini Buccaneer*

4.2 Parte Submersa do ASV

Submerso estão os motores/propulsores suportados por uma estrutura de alumínio que suporta também um tubo de acrílico onde estão alojadas as baterias e a eletrónica associada a estes elementos.

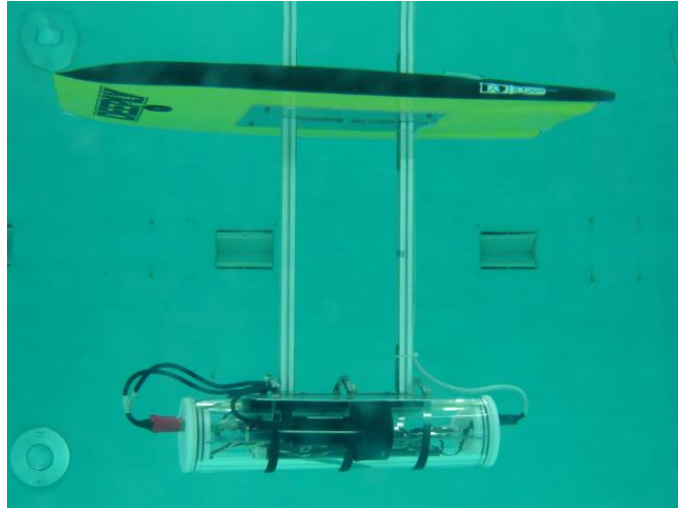


Figura 4.7 - Parte Submersa do ASV

A estrutura de alumínio faz a ligação entre as partes emersa e submersa e é composta por duas placas horizontais e dois perfis verticais a ligar as duas placas. A placa horizontal superior (já descrita no capítulo 4.1) tem como dimensões 32x20cm e 2mm de espessura e está fixa e tangente à face inferior da prancha. Nesta placa estão fixos os dois perfis verticais com 40 cm de altura onde na outra extremidade está fixa a placa horizontal inferior. Esta placa inferior é quadrada com 32cm de lado e 2mm de espessura e é onde estão fixos os propulsores e o tubo de acrílico.

Os perfis verticais são dois perfis *MayTec 20x20, 4H- slot* de 40cm de comprimento, estes perfis têm a grande vantagem de terem uma configuração que permite facilmente a fixação a outros perfis ou outras estruturas. O espaço interior é cilíndrico com a possibilidade de ser roscado. Neste caso esse interior foi roscado por forma a entrar um parafuso M5 com 30 mm de comprimento por forma a fixar estes perfis às placas de alumínio nas extremidades.

Como esta estrutura vai estar sujeita a significativas forças de arrasto e torção esta foi reforçada com quatro L's em aço inoxidável, um em cada extremidade dos perfis verticais melhorando a coesão, consistência e rigidez da estrutura. Cada L permitem a sua fixação através de 4 parafusos M3, dois assentes no perfil e dois assentes na placa de alumínio.

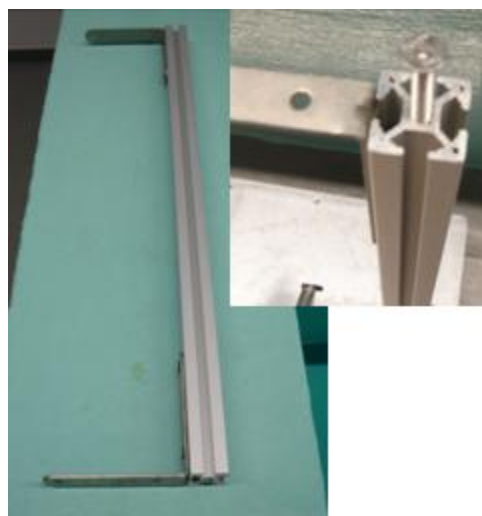


Figura 4.8 - Perfil vertical com reforços nas extremidades e parafuso no interior (à direita)

O tubo de acrílico tem no seu interior alojadas as baterias e a eletrónica de interface e controlo das mesmas e dos propulsores. O tubo tem 50 cm de comprimento e um diâmetro externo de 12cm e uma parede com 3mm de espessura. O diâmetro e comprimento representam as dimensões mínimas para permitir a alocação no interior das baterias e da eletrónica que está associada.

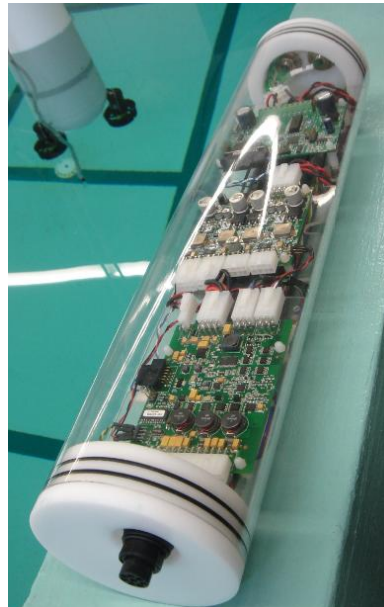


Figura 4.9 - Tubo de Acrílico

Um dos grandes desafios apresentados por esta estrutura subaquática é como manter todos estes componentes secos dentro do tubo de acrílico. Para isso foram construídos duas tampas (*end caps*) a partir de um bloco maciço cilíndrico de Poliacetal onde foram incorporados dois vedantes circulares (*O-rings*) em cada tampa para se conseguir o isolamento entre o ambiente seco do interior e o ambiente subaquático do exterior.

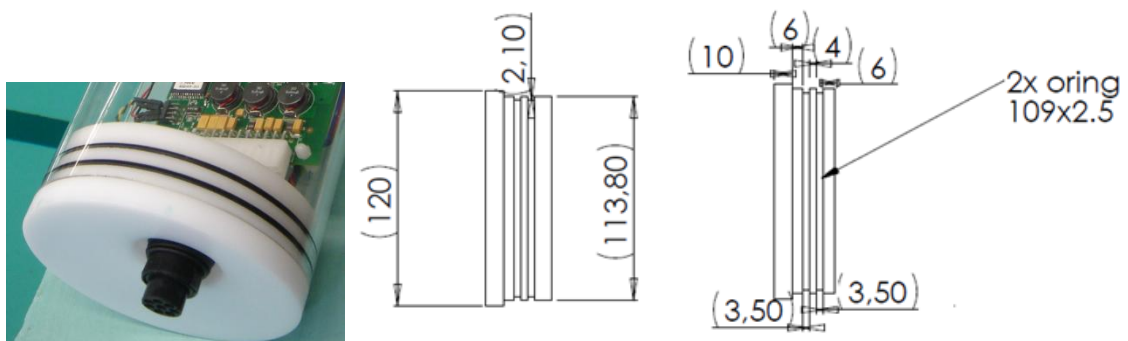


Figura 4.10 - Tampas do tubo de acrílico (*End Caps*)

As tampas foram construídas a partir de um bloco cilíndrico de poliacetal maquinado no torno mecânico presente na oficina do departamento por forma a ficar com a forma demonstrada na figura 4.10. A parte da tampa que fica fora do tubo de acrílico tem o diâmetro de 120mm e 10mm de espessura. A parte que fica dentro do tubo tem um diâmetro externo de 113,80mm, 23mm de comprimento e 10mm de espessura. Nesta superfície foram abertos dois rasgos para serem instalados os O-rings, esses rasgos têm 2,10 mm de profundidade e 3,50mm de largura. Estes rasgos são uma das partes mais delicadas onde a precisão tem de ser elevada e os acabamentos bem efetuados pois é esta superfície que em contacto com os

vedantes *O-rings* vai permitir a impermeabilização das tampas. Para esses acabamentos a superfície foi polida com recurso a lixa de água com uma granulação de 1200.

Estas tampas (*End Caps*) foram também posteriormente trabalhadas na fresadora *CNC* de três eixos para poderem incorporar conectores para superfícies seco-molhado por forma a serem o ponto de conexão do exterior com o interior do tubo de acrílico por onde a cablagem proveniente da superfície entra e por onde saem os cabos de alimentação dos motores.

Para o cabo proveniente da superfície, um cabo de 8 condutores com 7mm de diâmetro, foi utilizado um conector igual ao utilizado na outra extremidade do cabo (à superfície na tampa onde está o sistema computacional e os sensores), ou seja, um conector *Bulgin Mini Buccaneer* para 8 condutores que foi incorporado na tampa traseira. Por sua vez na tampa dianteira foram instalados dois conectores *SubConn Standard Circular* de 4 contactos que iriam servir para fazer a transição do ambiente seco para o ambiente molhado dos condutores para alimentação de cada um dos dois propulsores instalados no veículo (figura 4.11).



Figura 4.11 - End Caps com conectores Subconn para alimentação dos motores

O espaço interior do tubo de acrílico foi otimizado por forma a conseguirmos incluir todos os componentes necessários no menor volume possível. Os componentes presentes no interior são as duas baterias de iões de lítio (*Inspired Energy NL2044*) a placa de controlo das mesmas (*OceanServer BBDC-02R*), um conversor DC-DC elevador de tensão (*OceanServer DC2U-1V*), e a placa de controlo dos motores (*ROBOTEQ AX500 controller*) e as respetivas ligações.

Foram desenhadas em *SolidWorks* e impressas em 3D (com recurso à impressora 3D existente na unidade de robótica e sistemas inteligentes do *INESC*) duas peças para suporte das baterias e construída uma placa de acrílico com 46x11 cm e 2 mm de espessura onde vão ser fixas as peças para suporte das baterias e os componentes eletrónicos.



Figura 4.12 - Peças para suporte das baterias

Capítulo 5

Software de bordo

5.1 Arquitetura geral

Neste capítulo será descrita a arquitetura geral do software a bordo da prancha robótica desenvolvida. O software implementado segue o modelo já usado pelo grupo OceanSys, onde este trabalho se insere, e constitui uma adaptação do software já implementado em outro ASV desenvolvido pelo grupo, de seu nome ZARCO.

O software está desenvolvido em linguagem C/C++ para a plataforma Linux, e segue uma arquitetura modular onde os diversos módulos estão organizados por camadas (figura 5.1) e são processos independentes ao nível do sistema, interagindo entre si e trocando informação. Esta arquitetura procura garantir a modularidade, robustez, reconfigurabilidade e fácil expansibilidade do sistema.

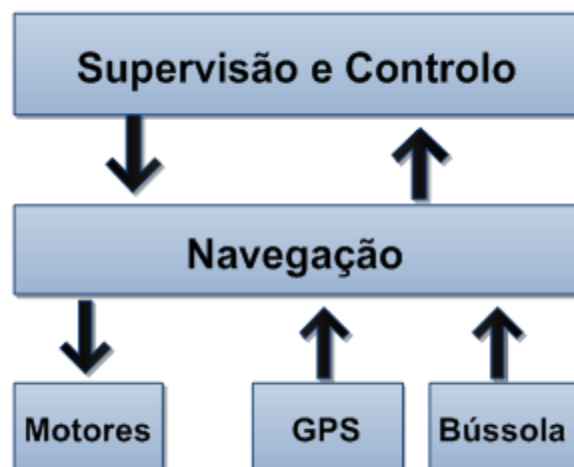


Figura 5.1 - Arquitetura geral do Software a bordo

A interação entre os diversos módulos é realizada através de mensagens UDP (*User Datagram Protocol*), enviadas de um determinado módulo diretamente para os diferentes destinos pretendidos.

No nível mais baixo encontra-se a camada composta pelos módulos de interface (drivers) com os diferentes dispositivos físicos (sensores e atuadores). No nível intermédio encontra-se uma camada que recolhe os dados dos sensores e atualiza o estado do robot enviando essa informação para o nível superior e recebendo deste os comandos que terá que enviar para os motores. Permite uma abstração por parte do nível superior em relação aos dispositivos físicos permitindo assim facilmente comutar entre os dispositivos físicos e um software de simulação. No nível superior encontra-se a camada de controlo e de supervisão da operação que, em função da missão e do estado atual, define as manobras a serem realizadas pelo robot e permite através da interação com uma consola GUI (Graphical User Interface) presente num computador base (em terra) o controlo e supervisão da missão por parte do utilizador.

Essa consola (figura 5.2) estará numa estação base onde será possível monitorizar a missão e o comportamento do ASV e possível também controlar e comandar remotamente o robot. Esta consola de interface não foi desenvolvida durante a dissertação, foi uma consola já criada e utilizada para o controlo de outros ASV's desenvolvidos pelo Ocean Systems Group.

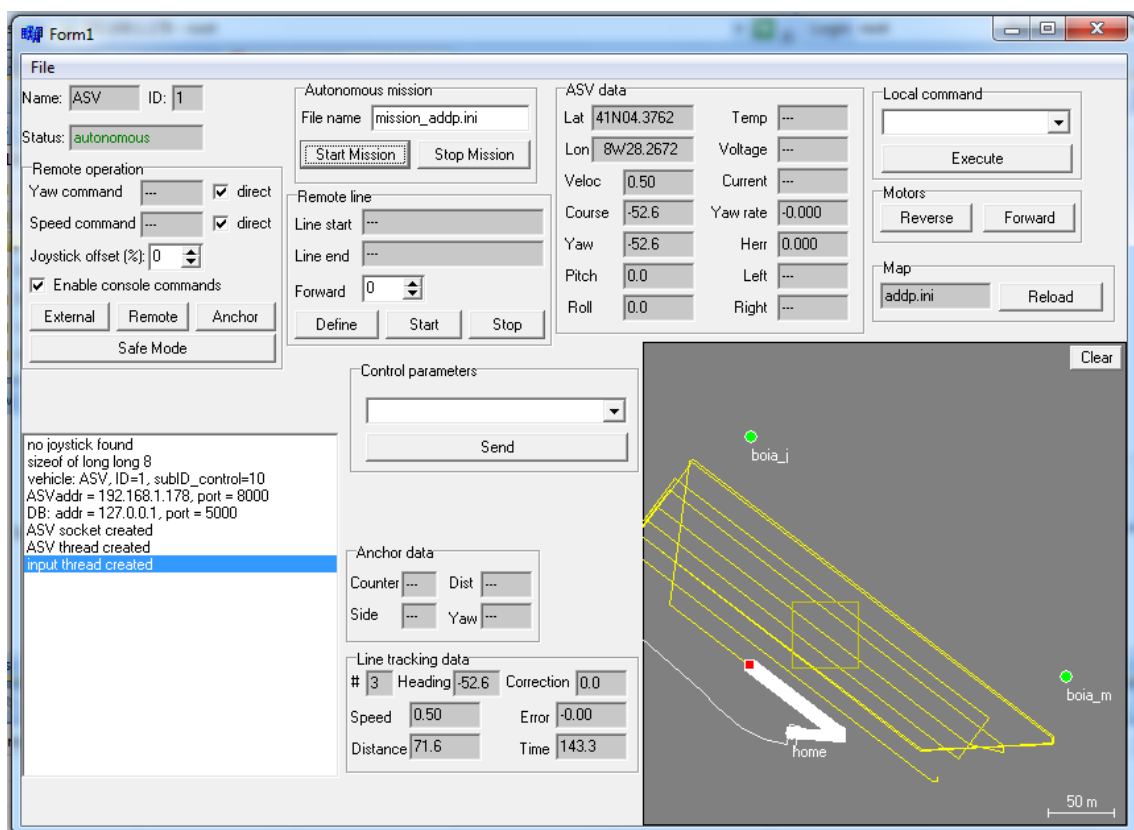


Figura 5.2- Consola de supervisão e controlo do ASV

A par destes módulos de *software* correm também outros dois módulos, o primeiro permite a comunicação entre o software a bordo e a estação base. O segundo é um software que permite registar todos os eventos ocorridos (*fazer logging*).

Existe também um último módulo que permite a simulação do sistema físico e dos dados sensoriais, conseguindo estimar o comportamento do sistema em contexto físico permitindo testar algoritmos de controlo e navegação sem ser necessário recorrer a um sistema físico totalmente operacional.

5.2 Controlo e Supervisão

Este é o principal módulo de *software* do sistema e é o responsável por controlar o veículo, conduzi-lo, e por mandar os dados para o exterior no sentido de haver um acompanhamento e supervisão por parte de um operador humano sendo-lhe possível mandar comandos de alto nível que serão descritos mais abaixo.

O Software está construído por forma a ser possível operar o ASV de várias formas distintas:

Modos de operação do veículo:

- Operação autónoma com missão pré-programada contida num ficheiro de missão
- Operação autónoma com missão programada remotamente em tempo real (External)
- Ancoragem (controladores e atuadores ativos, ASV mantém posição fixa)
- Operação em modo Remoto (*Remote - Radio Control*)
- Operação em modo de segurança (congelado)

O primeiro modo de operação consiste em, a partir da leitura de um ficheiro de texto contendo a descrição da missão, realizar autonomamente todas as manobras que estão discriminadas e sequenciadas na descrição da missão. De seguida está apresentado um exemplo simples de um ficheiro de missão contendo a posição de referência, alguns pontos definidos como diferença (em m) em relação à referência (NE) ou como posição absoluta de latitude e longitude (LL) e por fim está descrita a missão com as manobras a realizar.

```
[Reference]
coords = LL 41.072474 -8.470744

[Points]
p0 = NE -3.381 39.850
p1 = NE -0.344 35.878
p2 = NE 94.794 -88.510
p3 = NE 97.831 -92.482
p4 = LL 41N03.6350 8W27.2930
p5 = LL 41N03.6550 8W27.2330

[Mission]
line_earlyend = 3
speed = 0.5
goto = BP p0
lineto = BP p1
lineto = BP p2
line_earlyend = 0
lineto = BP p5]
```

Figura 5.3 - Exemplo de ficheiro de missão

O segundo modo de operação é idêntico ao primeiro com a diferença que não há uma missão totalmente definida no início da missão mas as manobras a realizar autonomamente vão sendo definidas remotamente ao longo do tempo por parte de um operador humano através da consola de monitorização e comando do ASV.

O modo de ancoragem consiste em manter o ASV num determinado ponto fixo, com controladores e atuadores ligados por forma a conseguir contrariar movimentações devido a ventos, correntes ou outras forças externas. Este modo é ativo pelo operador através de atuação na consola de controlo e pode ser ativo quando qualquer um dos restantes modos está ativo.

A operação em modo remoto funciona tal como qualquer veículo “telecomandado”, que através de um controlador remoto (joystick) é possível controlar em tempo real o ASV.

A operação em modo de segurança pode ser ativa pelo operador quando qualquer um dos restantes modos está ativo e é também o modo em que entra o ASV aquando da finalização da sua missão, esperando assim por novas indicações por parte do operador.

As manobras que o ASV consegue desempenhar são:

- Deslocação até um ponto (“Goto”)
- Seguimento de uma determinada linha até um determinado ponto (“Lineto”)
- Ancoragem (“Anchor”)
- Espera (“Wait”)

A execução de cada uma das manobras em cada um dos modos de operação é realizada com recurso a controladores *PID* de velocidade e orientação e a um nível superior controladores de posição. Em função do modo de operação e da manobra a ser realizada estes controladores são ativos ou não, podendo controlar tanto em malha fechada (realimentados), como em malha aberta em função da necessidade para a execução da manobra.

5.3 Navegação

Este módulo cobre todo o nível intermédio e é o responsável por comunicar diretamente com os drivers dos dispositivos físicos e com a camada superior de controlo. Esta recolhe os dados disponibilizados pelos sensores (GPS e bússola) e constrói, a partir destes dados e do estado anterior do robot, o seu estado atual.

Recebe do recetor GPS a posição (latitude, longitude) associada a um instante de tempo e a um valor de precisão dessa posição. Da bússola recebe a orientação em 3D: rotação no plano horizontal (*Yaw*), rotação segundo o eixo lateral (*Pitch*) e rotação segundo o eixo longitudinal do robot (*Roll*).

A partir dos dados obtidos da bússola sabemos a orientação do robot em relação ao referencial inercial (fixo) definido como referencia (ângulos *Yaw*, *Pitch* e *Roll*) e a partir destes ângulos conseguimos calcular a velocidade angular do robot segundo os três eixos (*p*, *q* e *r*) onde:

$$P = \dot{roll} - \sin(\text{pitch}) \cdot \dot{yaw} \quad (5.1)$$

$$q = \cos(\text{roll}) \cdot \dot{pitch} + \cos(\text{pitch}) \cdot \sin(\text{roll}) \cdot \dot{yaw} \quad (5.2)$$

$$r = -\sin(\text{roll}) \cdot \dot{pitch} + \cos(\text{pitch}) \cdot \cos(\text{roll}) \cdot \dot{yaw} \quad (5.3)$$

Em que *droll*, *dpitch* e *dyaw* são as derivadas de *roll*, *pitch* e *yaw* respetivamente. No entanto, como o robot andarà apenas à superfície aquática podemos considerar o seu movimento como movimento em duas dimensões apenas, considerando então os ângulos *pitch* and *roll* como constantes com valor de referência zero, onde podemos considerar *pitch*, *roll*, *p* e *q* nulos.

A partir da informação recolhida dos sensores este módulo constrói o estado do robot. Para isso é calculada a posição do robot em metros, em relação a um referencial solidário com a Terra. A partir da derivação dessa posição é possível obter a velocidade do robot decomposta em velocidade para norte e velocidade para este. Associado ao valor da posição existe também o valor do erro máximo dessa posição.

Estado do robot:

- Latitude (rad)
- Longitude (rad)
- Velocidade para Norte (m/s)
- Velocidade para Este (m/s)
- Yaw (rad)
- Pitch (rad)
- Roll (rad)
- p (rad/s)
- q (rad/s)
- r (rad/s)
- Erro da posição (m)

O estado do robot é então enviado periodicamente para o nível superior de controlo que irá processar essa informação e responder a este nível como será a atuação dos motores. Ou seja, este nível intermédio recebe já os comandos diferenciados para os dois motores tendo a responsabilidade de os reencaminhar para os drivers dos motores.

Esta arquitetura e particularmente este nível permitem que haja uma abstração por parte do nível superior em relação aos dispositivos físicos, o que permite uma fácil comutação entre estes e um *software* de simulação (descrito na secção 5.6 - Simulação).

5.4 Drivers - Interface com dispositivos físicos

Os Módulos de *interface* com os dispositivos físicos são programas independentes de todos os outros módulos, comunicando constantemente com os dispositivos físicos - GPS, bússola e motores - lendo e enviando dados para estes segundo diversos protocolos e segundo vários tipos de conexão (série rs232, rs485, USB,...).

Permitem através desta comunicação ler os dados enviados pelos dispositivos: coordenadas GPS, orientação da bússola, estado dos motores, etc. assim como, através de dados enviados por estes módulos para os dispositivos, é possível acionar motores assim como configurar e calibrar dispositivos.

Estes módulos estão sempre à escuta e quando solicitados pelo nível superior enviam os dados sensoriais ou no caso dos motores recebem os parâmetros de atuação e encaminham para os motores que irão ser atuados em conformidade com esses parâmetros.

A maioria destes drivers, tal como grande parte do restante *software*, já tinham sido desenvolvidos anteriormente pela equipa do *Ocean Systems Group*, tendo sido apenas necessário nesta dissertação adaptar alguns desses drivers já existentes, com a exceção do driver para comunicar com a bússola que teve de ser criado de raiz.

Este módulo para comunicar com a bússola segue a estrutura do *software*, e especificamente dos drivers, desenvolvido pelo grupo de investigação. Este módulo é configurável através de um ficheiro de configuração lido pelo programa, recebe os dados enviados pela bússola por USB ou porta série e trata essa informação por forma a esta poder ser enviada para o nível superior (navegação). Em paralelo corre uma *thread* de comunicação com o módulo de nível superior que envia os dados já tratados para esse módulo.

5.5 Comunicações e Data Logging

Em paralelo com todos os módulos descritos até ao momento correm mais dois módulos que permitem a comunicação do veículo com o exterior assim como o registo de todos os dados e eventos ocorridos no sistema geral (*data logging*).

O primeiro destes módulos, o módulo para comunicações com o exterior é um módulo configurável que permite a comunicação com entidades presentes na mesma rede local. É isto que permite a troca de dados entre o *software* a bordo do veículo e a base. A base é um computador com sistema operativo Windows que tem a correr a consola de supervisão e controlo do veículo através do qual o operador humano interage com o ASV.

O segundo módulo é o responsável por fazer o registo dos dados durante a execução de todos os outros módulos de *software*. Todos os dados são registados num ficheiro de texto no computador que serve como base (computador que está em Terra). Esta funcionalidade é particularmente útil na fase de desenvolvimento facilitando o trabalho de *debugging* (localização e resolução de erros do sistema) facilitando a avaliação do desempenho de cada módulo de *software*.

5.6 Simulação

Para facilitar o desenvolvimento e teste de algoritmos de controlo e navegação foi implementado um *software* que simula a existência dos dispositivos físicos (sensores e motores) e que permite avaliar o desempenho dos algoritmos implementados sem ser necessário recorrer a dispositivos físicos com todas as implicações que deles advêm tais como a necessidade de ter um robot totalmente operacional e pronto a ir para a água, a necessidade de estar em terreno aberto e com céu aberto para a adequada receção dos dados sensoriais entre outras.

Com base num modelo dinâmico do robot este *software* de simulação consegue estimar o comportamento do robot em função de fatores ambientais inseridos tais como a corrente marítima e dos comandos que lhe são passados. Consegue estimar a evolução das variáveis de estado passando essa informação para o nível de controlo superior que processará essa informação independentemente se esta vem de simulação ou de dados físicos.

Este módulo de *software* quando em execução simula a atuação dos dispositivos físicos, dos seus *drivers* e ainda do nível intermédio de controlo podendo-se reorganizar a arquitetura original numa nova arquitetura de *software* para simulação.

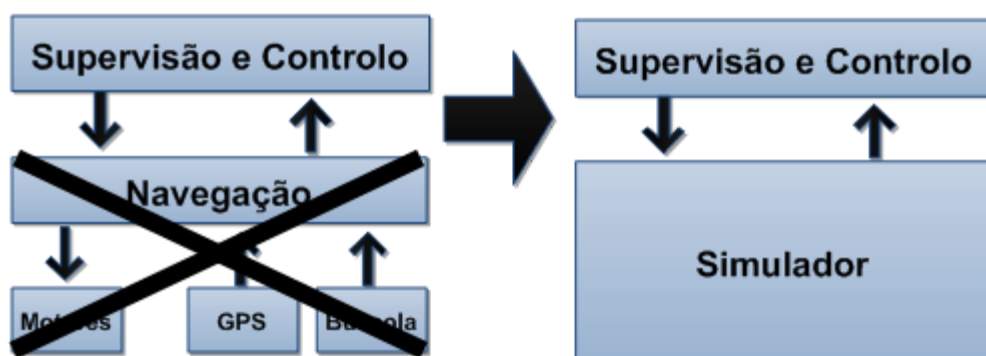


Figura 5.4 - Arquitetura do *software* para modo de simulação

Testes e resultados

Esta dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de um protótipo funcional para a realização de testes e retirada de conclusões para o trabalho posterior do INESC para o projeto ICARUS, onde tem que ser desenvolvido um ASV totalmente funcional capaz de navegar em alto mar com condições marítimas e atmosféricas adversas e transportando equipamento de localização e assistência ao naufrago.

O principal resultado desta dissertação foi a concretização do desenvolvimento do protótipo.

Até ao momento o protótipo apresenta já várias características e funcionalidades testadas e validadas e outras funcionalidades testadas apenas em simulação que devido a restrições logísticas e temporais não foi ainda possível realizar testes fora do ambiente laboratorial, nomeadamente em meio aquático *outdoor* real. Neste sentido está prevista o transporte do ASV para ambiente real para a realização dos testes com resultados a constarem na versão final desta dissertação escrita. Como tal os testes foram realizados no laboratório de robótica aquática da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto onde se encontra uma piscina de ensaios com uma dimensão de 4,4 x 4 x 1,7 metros onde foram realizados os testes em meio aquático *indoor*.

Os testes realizados e resultados alcançados estão divididos em três subcapítulos: Simulação, Estrutura Mecânica e Funcionalidades. No primeiro são apresentados os resultados obtidos em simulação, no segundo serão descritos os resultados para testes físicos efetuados ao veículo como testes de robustez mecânica, centro de massa, flutuação e estabilidade. No terceiro são descritos os resultados para os testes funcionais ao veículo, nomeadamente localização, orientação, controlo remoto, controladores de orientação e velocidade e realização de manobras de missão.

6.1 Testes e Resultados em simulação

Através do *software* de simulação é possível testar o desempenho da camada de controlo do ASV, é possível programar missões e avaliar o desempenho destas por parte do veículo autónomo.

O *software* de simulação, tal como a maioria dos restantes módulos de software implementados, não foi criado de raiz, foi apenas uma adaptação do software já existente para outros veículos ASV desenvolvidos pelo *Ocean Systems Group*. Quanto à consola de interface foi também desenvolvida anteriormente pelos membros do grupo de investigação.

Estes dois recursos, *software* de simulação e consola de interface, permitiram testar os algoritmos presentes na camada de controlo do software embebido no veículo.

Esses testes consistiram em atribuir uma missão complexa com várias manobras sequenciais, nomeadamente deslocação até um ponto, seguimento de uma linha, ancoragem e espera, e avaliar a execução de cada manobra ao longo da missão. Foi testada a comutação do modo de operação do veículo entre as várias possibilidades e o regresso ao modo de missão autónoma continuando na execução da manobra que foi interrompida.

Os resultados destes testes em simulação foram satisfatórios verificando-se o cumprimento da missão com um grau de precisão elevado mesmo com a introdução de parâmetros de simulação para correntes.

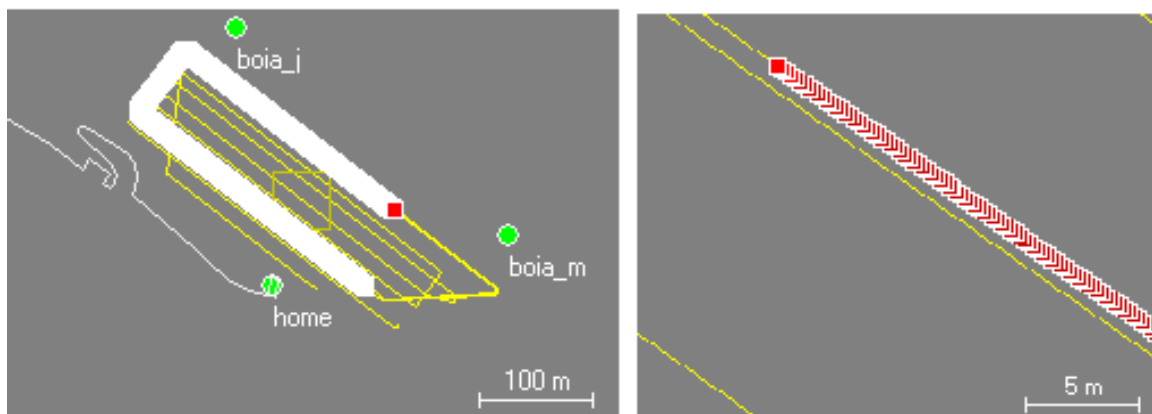


Figura 5.5 - Resultados em Simulação

6.2 Testes e Resultados: Estrutura Mecânica

Neste subcapítulo estão apresentados os vários testes realizados à estrutura mecânica e física do protótipo desenvolvido. Estes testes foram organizados em função do seu tipo, nomeadamente: robustez mecânica, centro de massa, flutuação e estabilidade.

6.2.1 - Robustez Mecânica:

Os testes de robustez mecânica consistiram em sujeitar alguns pontos críticos da estrutura a diferentes forças de tensão, torção ou compressão e avaliar o impacto dessas forças na estrutura avaliando desta forma o desempenho da estrutura e especificamente desses pontos críticos quando sujeitos a estas forças.

No primeiro teste realizado foi avaliada a resistência e robustez mecânica da estrutura que interliga as partes emersa e submersa. Tal como descrito no capítulo 4.2 esta estrutura é constituída por duas placas de alumínio interligadas por dois perfis verticais *MayTec* de 40cm que na água será sujeita a significativas forças de arrasto e torção.

Os primeiros testes consistiram em aplicar várias tensões e torções à estrutura onde se concluiu a necessidade de reforçar a estrutura com os L's descritos no capítulo 4.2. Após este reforço o desempenho da estrutura às mesmas forças foi satisfatório revelando elevada robustez mecânica especialmente no sentido do movimento e alguma elasticidade em movimentos de torção da estrutura quando a parte superior está sujeita a forças diferentes da parte inferior. Este desempenho é satisfatório para este nível de testes mas a estrutura terá que ser reforçada para poder ser possível navegar condições marítimas adversas com forte ondulação.

Outro ponto crítico da estrutura mecânica é a fixação do tubo de acrílico (que armazena as baterias e a eletrónica submersa) à placa de alumínio que a suporta através de abraçadeiras mecânicas. A força que é aplicada nas abraçadeiras tem que ser controlada e se for excessiva poderá deformar o tubo de acrílico com consequências de permeabilidade do seu interior.

Os primeiros testes realizados foram precisamente para testar a deformação do tubo em função da força exercida pelas abraçadeiras.

O processo experimental consistiu em comprimir ou aliviar a tensão exercida pelas abraçadeiras metálicas (tensão equalizada entre as três diferentes abraçadeiras) e avaliar a deformação do tubo de acrílico sujeitando-o, com as respetivas tampas colocadas, a um período mínimo de uma hora submerso a uma profundidade mínima de um metro.

Para algumas tensões nas abraçadeiras verificou-se a entrada de água no interior do tubo através das suas extremidades concluindo-se a deformação excessiva do tubo de acrílico.

Este procedimento foi repetido, com a tensão nas abraçadeiras progressivamente menor. Com um determinado nível de tensão verificou-se a impermeabilização do interior do tubo, ou seja, o nível de deformação do tubo era desprezável pois não tinha qualquer implicação.

Com este teste realizado e com resultados satisfatórios ao nível da deformação do tubo e consequente permeabilização do seu interior, procedeu-se a outro tipo de testes na mesma

ligação entre o tubo e a placa de alumínio superior. Estes testes consistiram na aplicação de forças longitudinais e laterais no tubo para avaliar a existência ou não de deslocamentos do tubo em relação à restante estrutura.

Em relação às forças longitudinais a estrutura apresentou resultados satisfatórios não ocorrendo qualquer deslizamento/deslocação quando submetido a forças superiores às forças em que iria estar sujeito na água em plena operação.

Já em relação às forças laterais, quando sujeito forças mais elevadas verifica-se uma rotação do tubo (na ordem dos 10°) em relação à placa de alumínio, voltando à posição normal quando a força deixa de ser aplicada.

Este resultado apresenta-se como não satisfatório para soluções a médio prazo com cenários de operação com maior exigência, no entanto para o tipo de testes e cenários em que o ASV será operado nesta fase a solução é satisfatória apresentando-se então como uma solução temporária e um dos pontos críticos a melhorar a curto/médio prazo.

6.2.2 - Estimação do Centro de Massa

Após o Protótipo ASV totalmente montado, com todos os seus componentes já instalados, realizaram-se testes e cálculos para estimação do centro de massa e flutuação do veículo e as implicações desses resultados a um nível prático na flutuação e estabilidade do mesmo.

O teste para estimar a posição do centro de massa consistiu em apoiar o veículo numa base cilíndrica e procurar o seu ponto de maior equilíbrio segundo o eixo longitudinal do veículo e segundo o eixo vertical do mesmo. Quanto ao eixo lateral do veículo o centro de massa é aproximadamente ao centro visto o veículo ser aproximadamente simétrico sem grandes diferenças de massa entre os dois lados do eixo longitudinal do veículo.

Estes testes demonstraram que o centro de massa segundo o eixo vertical se coloca aproximadamente a meio da estrutura de alumínio que liga a parte emersa da submersa. Em relação ao centro de massa segundo o eixo longitudinal conclui-se que o centro de massa encontra-se ligeiramente (aprox. 2cm) à frente da linha das hélices onde a força de propulsão é efetuada.

Segundo o eixo vertical, o facto de a propulsão ser realizada a um nível inferior ao da posição do centro de massa faz com que o veículo possa ter tendência a levantar a sua parte dianteira quando em movimento, o que poderá ser positivo ao ajudar o veículo a ter um comportamento planante.

Segundo o eixo longitudinal poderia ser interessante trazer o centro de massa para uma posição mais atrás no veículo para favorecer o comportamento planante do mesmo. Este comportamento planante é considerado positivo por ajudar o veículo a deslocar-se com mais facilidade a velocidades superiores e conseguir ultrapassar mais facilmente a ondulação.

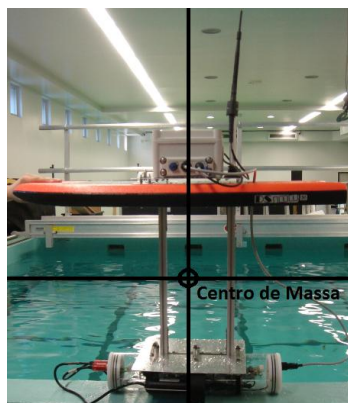


Figura 5.6 - Localização estimada do Centro de Massa

6.2.3 - Flutuação

O veículo apresenta dois componentes com elevada flutuabilidade, a plataforma de flutuação (prancha) e o tubo de acrílico submerso, e como tal, após a estimação do centro de massa, é interessante estimar a posição do ponto de flutuação (ou centro de impulsão) e, avaliando as posições relativas destes dois pontos, analisar a flutuabilidade e estabilidade do ASV.

Qualquer corpo mergulhado num fluido (total ou parcialmente) sofre uma força vertical, de baixo para cima, que é igual ao peso do volume do fluido deslocado. Essa força que se opõe à força da gravidade é aplicada no ponto de flutuação. Este ponto foi portanto estimado através do cálculo aproximado do centro de massa do volume de água deslocado pelo veículo quando este se encontra na água.

Estes cálculos mostraram que o centro de flutuação se encontra numa posição central do plano vertical veículo, e segundo o eixo vertical do mesmo, os cálculos demonstraram que o centro de flutuação se encontra numa posição central da estrutura de alumínio que liga a parte emersa da parte submersa do ASV, ou seja, segundo este eixo o ponto de flutuação encontra-se próximo do centro de massa encontrando-se numa posição ligeiramente inferior à posição do mesmo. Isto tem implicações ao nível da flutuabilidade e estabilidade que estão descritas no subcapítulo seguinte (6.2.4 - Estabilidade) e os testes realizados em função dessas implicações.

6.2.4 - Estabilidade

Com o centro de massa e flutuação estimados é possível realizar uma análise mais correta da flutuabilidade, estabilidade do veículo e consequentes capacidades de navegação do mesmo.

Devido ao seu centro de massa submerso e à posição central (segundo o eixo vertical) do centro de flutuação o veículo apresenta uma grande estabilidade capaz de se manter na posição de equilíbrio mesmo sujeito a significativas forças desequilibradoras. No entanto, quando sujeito a rotações maiores poderá encontrar uma posição de equilíbrio lateral tal como demonstrado na figura 6.4.

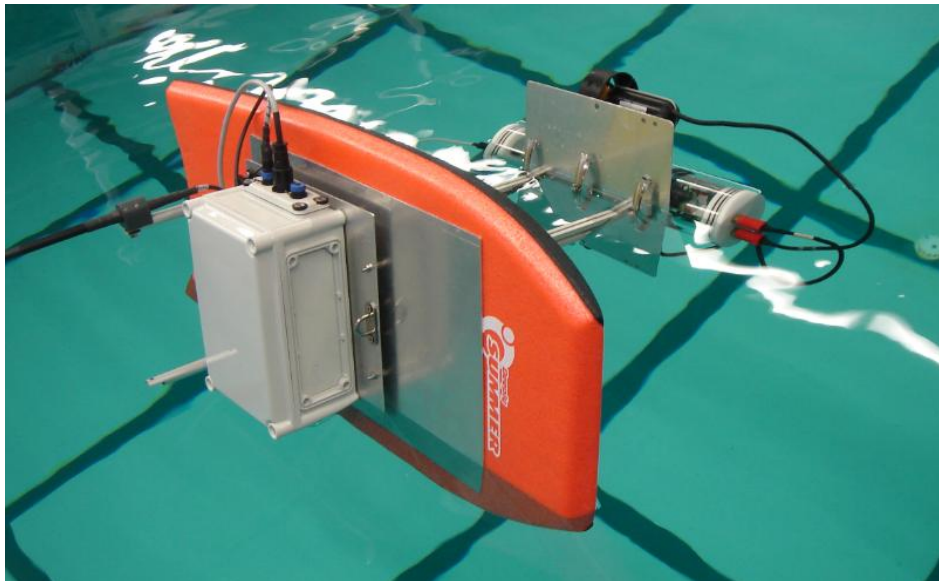


Figura 5.7 - ASV em posição lateral

Para contrariar este efeito foram realizados vários testes associando ao veículo diferentes pesos em algumas posições do ASV por forma a tentar baixar o centro de massa e subir o ponto de flutuação por forma a este voltar sempre à posição de equilíbrio e este se tornar mais estável resistindo melhor a condições de ondulação, forças laterais desequilibradoras, entre outros fatores de instabilidade.

Foram adicionados chumbos num total de dois ou três quilos ao ASV, assentes na placa de alumínio que suporta os propulsores e o tubo emerso, trazendo o centro de massa para uma posição mais inferior do veículo. Estes foram assentes numa posição traseira relativamente aos propulsores, trazendo portanto o centro de massa para uma posição mais atrás da linha onde a propulsão é efetuada aumentando assim o levantamento da parte dianteira do veículo.

Segundo o eixo vertical do ASV estes pesos fizeram com que o centro de massa descasse significativamente e o centro de flutuação subisse pois o volume da prancha submerso aumentou. Isto fez com que a estabilidade do veículo aumentasse significativamente não se verificando a posição lateral de equilíbrio (figura 6.4) que se verificava anteriormente à adição deste peso extra.

6.3 Testes e Resultados funcionais

Vão ser apresentados neste subcapítulo os testes funcionais realizados e respetivos resultados alcançados, nomeadamente testes de comunicação, localização, orientação, manobrabilidade, controladores de orientação e velocidade, e manobras de missão.

6.3.1 - Teste de comunicação

Este teste consistiu em testar e validar a capacidade do veículo comunicar com a base, enviando dados e recebendo comandos. Este teste foi realizado em duas fases, primeiro em laboratório e posteriormente em ambiente real.

A primeira fase ocorreu em laboratório utilizando a rede Wi-Fi local onde o ASV e um computador base estavam interligados.

Foi testada a recepção por parte da base dos dados sensoriais, GPS e Bússola, assim como dos restantes dados disponíveis do estado do ASV.

Ao nível dos comandos enviados da consola para o ASV foi testado a comutação entre os diversos módulos, e em modo *Remote* foi testada a operacionalidade do veículo controlado através de um *joystick*.



Figura 5.8 - ASV controlado remotamente na piscina de testes

Como resultados obtiveram-se na consola os dados sensoriais, nomeadamente a localização GPS e a orientação dada pela bússola, assim como os restantes dados do estado do ASV que foi possível obter. A comunicação da base para o veículo também aconteceu satisfatoriamente sendo possível mandar os comandos pretendidos para o robot e controla-lo satisfatoriamente remotamente através de *joystick*.

Quanto às restantes funcionalidades da consola não foi possível testar em ambiente laboratorial devido à impossibilidade de receber dados GPS na piscina de testes, e o campo magnético desta sofrer manipulações não permitindo a recepção de dados satisfatórios da bússola eletrónica a bordo. Como tal e para a realização dos restantes testes foi necessário transportar o veículo para um meio aquático em espaço aberto para poder receber devidamente os dados sensoriais e poder ser testado nos modos de missão.

Em ambiente real, os testes de comunicação ocorreram tanto em rio como em mar. Foi necessário criar uma no local uma rede Wi-Fi com recurso a um *router* e uma antena setorial e permitiram testar os comandos para modos autónomos: missão, *anchor* e *remote line*, assim como testar a recepção correta dos dados para monitorização enviados pelo veículo para a base.

6.3.2 - Testes de localização e orientação.

Os testes consistiram em transportar o ASV para diferentes localizações e segundo diferentes orientações tendo como referência o norte e verificar a recepção desses dados e a sua validade.

Para todas as posições e orientações os resultados obtidos foram satisfatórios conseguindo estimar-se com a precisão possível pelos sensores a localização e orientação do veículo.

6.3.3 - Testes de manobrabilidade

Estes testes ocorreram na piscina de testes e consistiram em verificar a manobrabilidade do ASV com recurso ao modo de controlo remoto, controlando assim o veículo com recurso a um *joystick*. Foi testado o envio de diversos comandos de atuação com diferentes intensidades no sentido de verificar a capacidade do ASV se deslocar para a frente, para trás, curvar para ambos os sentidos para vários raios de curvatura e rodar no próprio ponto.

Estes testes demonstraram que o ASV tem a capacidade de locomoção e curvatura em ambos os sentidos, consegue rodar mantendo a sua posição, mesmo quando sujeito a forças de rotação elevadas e rodando com uma velocidade de rotação elevada.

6.3.4 - Testes aos controladores de orientação e velocidade

Os testes aos controladores de orientação aconteceram primeiro em ambiente laboratorial na piscina de testes, sendo os resultados posteriormente validados em ambiente real tanto em rio como em mar. Os testes consistiram em dar valores de referência de orientação, e avaliar o desempenho do ASV ao tentar minimizar autonomamente a diferença entre esse valor de referência e a orientação real do veículo. A partir desta avaliação para diferentes parâmetros de controlo, estes foram afinados por forma a otimizar o desempenho do controlador implementado e consequente desempenho do ASV.

Os controladores de velocidade encontram-se implementados em software afinados para o ASV Zarco, no entanto não foram testados ainda para esta plataforma, pois até ao momento o controlo da velocidade é realizado em malha aberta, sem realimentação, onde apenas são enviados valores percentuais de atuação do controlo para os motores.

6.3.5 - Testes de missão em ambiente real

A operação em ambiente real está sujeito às condições de vento, corrente, e ondulação que se verificam no local. Estas naturalmente influenciam a locomoção do ASV e a eficácia dos controladores implementados no mesmo. Estes testes ocorreram em ambiente fluvial e marítimo e visavam avaliar o desempenho do veículo quando sujeito às condições impostas por estes ambientes.

Os testes em rio foram realizados na albufeira da barragem de Crestuma, no rio Douro, os testes em mar foram realizados ao largo de Sesimbra, com recurso a embarcações de apoio e um navio para o transporte até ao local de testes a cerca de 2 quilómetros da costa.



Figura 5.9 - ASV em operação no rio



Figura 5.10 - ASV em operação no mar

O ASV foi testado nos vários modos de operação (missão, controlo remoto, *remote line e anchor* e modo de segurança), executando as diferentes manobras possíveis (deslocação até um ponto, seguimento de uma linha e ancoragem). Foi testada também a alternância entre esses modos de operação e o comportamento do veículo quando este perde comunicações com a base.

Os testes nos diferentes modos de operação demonstraram que é possível operar em qualquer um dos diferentes modos, realizando as manobras que cada um dos modos prevê. A alternância entre os diferentes modos ocorreu devidamente quando a comunicação ASV-base se verificava possível.

No entanto quando a comunicação deixa de ser possível naturalmente esta alternância de modos controlada pelo operador de base deixa de ser possível.

Como tal foi testado o comportamento do veículo quando este deixa de comunicar com a base. Sempre que o veículo está em operação e a comunicar com a base, esta envia periodicamente para o veículo uma mensagem (*keepAlive message*) no sentido de este perceber que a comunicação está a ocorrer devidamente. O *software* a bordo do veículo permite configurar o comportamento do mesmo quando deixa de receber esta mensagem *keepAlive*. Esta configuração permite que o veículo possa continuar no modo de operação mesmo sem receber esta mensagem, durante um tempo determinado pela configuração, e impondo que após este tempo determinado o veículo entre em modo de segurança (*safe mode*). Os testes realizados demonstraram que o veículo quando perde comunicações com a base continua no modo em que se encontrava, continuando a manobra que estava a realizar, apenas durante o período de tempo definido na configuração, e que após este tempo este entra em modo de segurança.

De seguida são demonstrados os resultados para os testes a cada uma das manobras possíveis em modo autónomo (deslocação até um ponto, seguimento de uma linha e ancoragem).

As manobras de deslocação até um ponto (*goto*), seguimento de linhas (*lineto*) em modo de missão autónoma, ou a manobra de seguimento de linha introduzida pelo operador traçando-a na consola de interface (*remote line*), consistem no mesmo procedimento de controlo, visando deslocar-se seguindo de uma determinada linha, deslocando-se de um determinado ponto dessa linha até ao ponto objetivo.

Por sua vez a ancoragem é possível através de duas formas distintas, em modo de missão autónoma ou em modo *remote anchor*, que consiste em ancorar o ASV no ponto em que este se encontra aquando da ativação deste modo.

Para avaliar o deslocamento do ASV para um determinado ponto seguindo uma linha reta com uma dada orientação foram testadas, tanto em rio como em mar, várias manobras que podem ser estudadas através da análise dos registos (*logs*) obtidos aquando desses mesmos testes.

6.3.5.1 - Seguimento de linhas em rio:

No rio um dos principais testes consistiu em fazer o ASV executar uma missão onde teria que realizar linhas entre dois pontos díspares 30 metros um do outro. O objetivo foi avaliar o comportamento do ASV no seguimento dessas linhas (para ambos os sentidos - a favor e

contra a corrente) para diferentes atuações (100%, 75%, 50% e 25%), avaliando assim o desempenho dos controladores e o tempo necessário para percorrer esses 30 metros tanto a favor como contra a corrente. As condições eram de vento moderado direção norte para sul e quanto à corrente que se fazia sentir era moderada no sentido noroeste - sudeste.

Na figura 6.7 está representada a trajetória realizada pelo ASV ao tentar seguir uma linha de 30 metros no sentido de norte para sul. O veículo começou esta manobra com orientação oposta à pretendida, orientou-se para sul e descreveu a linha tal como mostra o gráfico. O ASV, mesmo apesar das condições que se faziam sentir conseguiu descrever a linha não se distanciando desta mais que 1,5 metros aproximadamente.

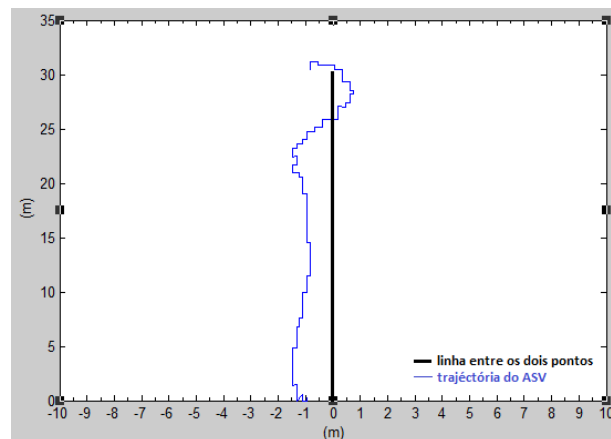


Figura 5.11 - Trajetória do ASV em linha norte-sul em rio em plena atuação

Na figura 6.8 está representada a trajetória seguida pelo ASV durante as 8 linhas efetuadas (4 para norte, 4 para sul). As linhas com menor erro e oscilação são aquelas onde a atuação para os motores é maior. Para atuações de 100 e 75% conseguimos ter trajetórias relativamente precisas (erro até aos 2m). Para atuações inferiores o erro aos 5m e verificou-se maior oscilação na direção sul-norte para atuação de 50%. Para os 25% o ASV apenas conseguiu realizar a trajetória no sentido norte-sul (sentido favorável ao vento e corrente), no entanto no sentido oposto o veículo não conseguiu opor-se às condições de vento e corrente sendo então arrastado no sentido sudeste.

Deste teste verificou-se que para atuações fortes o veículo consegue opor-se com mais eficácia às condições de vento, corrente e consegue também mais eficazmente corrigir as perturbações à orientação originadas pela ondulação.

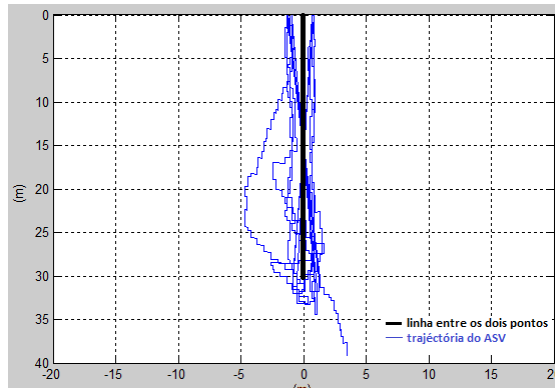


Figura 5.12 - Trajetória na realização de linhas iguais para diferentes atuações

Na tabela 6.1 estão apresentados os tempos que o ASV necessitou para percorrer cada uma das 8 linhas. É notório que o tempo despendido é inferior para sul do que para norte, isto é devido às condições favoráveis de vento e corrente para a navegação neste sentido. Para os 20% direção norte não foi possível ao ASV opor-se a estas condições e realizar o percurso pretendido sendo portanto arrastado pelo vento e pela corrente que se faziam sentir.

Tabela 5.1 - Duração para ASV realizar linha de 30 metros norte e sul para diferentes atuações - rio.

Atuação (%)	duração da trajetória (s)	
	norte	sul
100%	50	44
75%	67	57
50%	168	147
25%	-	261

6.3.5.2 - Ancoragens em rio:

Estes testes de ancoragem no rio consistiram em programar o ASV por forma a este manter a sua localização de forma de autónoma conseguindo compensar as influências de ventos, correntes ou outras condicionantes que possam fazer deslizar a sua localização. Na figura 6.9 está representada a localização do ASV no plano horizontal relativamente a um ponto de ancoragem de coordenadas (0,0). Conseguimos verificar que o ASV conseguiu manter-se sempre a uma distância inferior a aproximadamente 5 metros do ponto de ancoragem. O período máximo de ancoragem foi de 2min e 30 segundos.

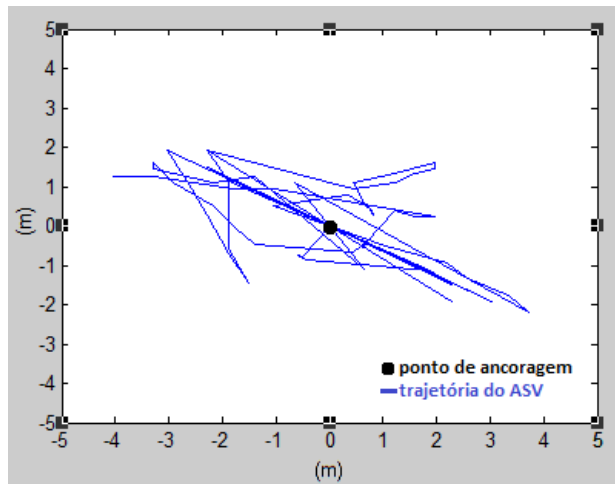


Figura 5.13 - Posição do ASV em ancoragem autónoma no ponto (0,0) - rio

6.3.5.3 - Trajetórias em Mar:

Os testes em mar consistiram em operar o ASV em modo autónomo fazendo-o seguir trajetórias previamente determinadas. As trajetórias consistiam em quadrados com trinta metros de lado que o ASV teria que percorrer nos dois sentidos.

No dia e local de testes o céu apresentava-se limpo, vento moderado a forte, ondulação e corrente marítima moderadas.

Na figura 6.10 está representado o percurso do ASV ao percorrer o quadrado definido num dos determinados sentidos. Esta figura é uma imagem retirada da consola de interface na base e os pontos a vermelho representam a evolução das coordenadas GPS (localização) do ASV ao longo da execução da missão.

É possível perceber pela imagem que o veículo conseguiu cumprir com o objetivo, embora com oscilações na sua trajetória devido às condições apresentadas no local.

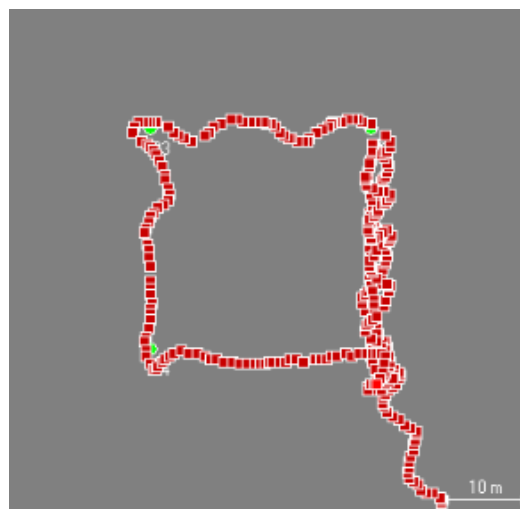


Figura 5.14 - Trajetória do ASV em mar: quadrado

Através dos registos da missão é possível saber o tempo despendido para a realização de cada manobra. O tempo para percorrer uma linha de 30 metros variou entre os 40 e os 90 segundos aproximadamente, sendo o tempo médio para cada uma das linhas de 59 segundos.

Para percorrer a totalidade do quadrado, no primeiro sentido o veículo necessitou de 237seg (3min e 57seg) enquanto no sentido inverso necessitou de 234seg (3min e 54seg). No total para percorrer estes 240 metros o ASV necessitou de 471 segundos (4min e 51seg).

Na figura 6.11 temos uma representação de uma das linhas do quadrado mais detalhadamente. Esta linha representa a primeira linha percorrida, no sentido sul-norte. O tempo necessário para esta linha foi de 81segundos.

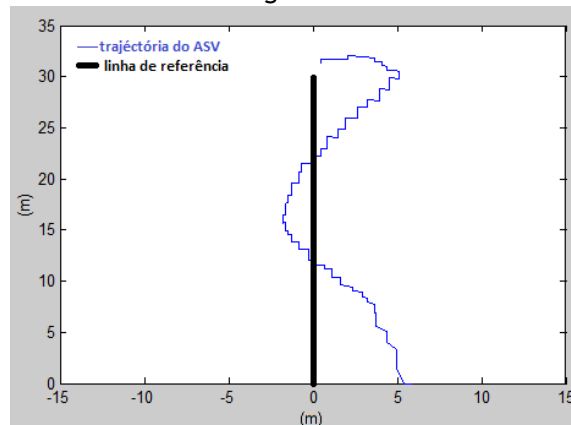


Figura 5.15 - Linha de 30m efetuada por ASV em mar

6.3.5.4 - Ancoragens em Mar:

Estes testes de ancoragem em mar consistiram em programar o ASV por forma a este manter a sua localização de forma de autónoma conseguindo compensar as influências de ventos, correntes ou outras condicionantes que possam fazer deslizar a sua localização. Na figura 6.12 está representada a localização do ASV no plano horizontal relativamente a um ponto de ancoragem de coordenadas (0,0). Conseguimos verificar que o ASV conseguiu manter-se sempre a uma distância inferior a aproximadamente 9 metros do ponto de ancoragem. O período máximo de ancoragem foi de 2min e 30 segundos. Em comparação com os testes em rio, o deslizamento em mar foi maior devido às condições mais adversas que foram encontradas neste local.

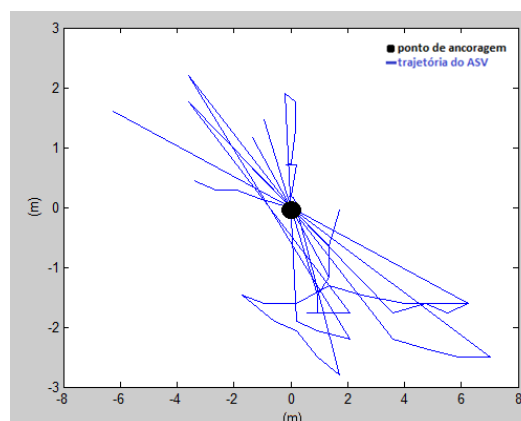


Figura 5.16 - Posição do ASV em ancoragem autónoma no ponto (0,0) - mar

Capítulo 6

Conclusões

7.1 Síntese do Trabalho realizado

Ao longo deste documento foi apresentado e descrito todo o trabalho realizado no âmbito desta dissertação. Além do levantamento bibliográfico realizado, foi apresentado o modelo protótipo desenvolvido assim como os testes a que este modelo foi sujeito e os respectivos resultados.

Ao nível do trabalho teórico realizado conclui-se que esta área da robótica aquática de superfície é uma área em franca expansão com várias aplicações desde militares, científicas, segurança até ao apoio a busca e salvamento. Inúmeras tecnologias de apoio a este tipo de veículos tem vindo a emergir. Consequentemente a evolução da capacidade de um ASV tem vindo a crescer consideravelmente. No entanto para aplicações para busca e salvamento ainda poucas soluções existem atualmente sendo uma área com elevado potencial de expansão onde começam agora a aparecer os primeiros avanços.

Quanto ao modelo protótipo ASV, este foi desenvolvido com sucesso e cumpre a generalidade das características e funcionalidades propostas inicialmente e como tal considera-se que os resultados obtidos são claramente satisfatórios.

O ASV está de acordo com a arquitetura mecânica proposta inicialmente apresentando uma satisfatória estabilidade quando na posição de equilíbrio e apresentando um desempenho muito satisfatório em deslocação.

No entanto vários desafios no âmbito da conceção mecânica apareceram e existem vários pontos na estrutura mecânica a serem melhorados.

Os maiores desafios à conceção mecânica do protótipo apareceram nas partes relacionadas com transições seco-molhado, na fixação do tubo de acrílico ao resto da estrutura subaquática e na grande capacidade de flutuação da parte emersa do ASV.

Em relação às transições seco-molhado, estas transições são um ponto crítico e delicado pois têm uma importância crucial para o funcionamento do sistema ao não permitirem a entrada de água para os espaços contendo componentes eletrónicos. Os desafios nestas

transições colocaram-se na construção das tampas em poliacetal do tubo de acrílico e nos orifícios para os conectores seco molhado para os vários tipos de cabo, pois este trabalho exige um grau de precisão e um nível de acabamento muito elevados para poderem assegurar a impermeabilidade. Ainda a este nível, os próprios conectores, e especialmente os conectores *Bulgin Mini Buccaner*, revelaram-se um ponto crítico pois necessitam de um enorme cuidado na sua instalação para assegurar a sua impermeabilidade.

A fixação do tubo de acrílico à estrutura de alumínio com recurso a abraçadeiras metálicas é um dos pontos críticos da estrutura mecânica e apresenta-se como um dos pontos a melhorar a curto prazo.

Ao nível das funcionalidades do ASV desenvolvido, estas cumprem na generalidade as funcionalidades propostas inicialmente. O ASV é capaz de autonomamente conhecer a sua posição e orientação. É capaz de comunicar com o mundo exterior enviando os seus dados e recebendo comandos remotos permitindo a supervisão e o controlo por parte de um operador humano na base. Por fim o veículo desenvolvido é também capaz de autonomamente deslocar-se a uma dada velocidade em função da atuação dos motores capaz de controlar autonomamente e sua orientação conseguindo executar missões pré-programadas e executar as manobras propostas inicialmente.

A este nível os grandes desafios foram ao nível da programação, foi necessário perceber o *software* desenvolvido pelo *Ocean Systems Group* com complexidade elevada e adapta-lo às necessidades deste projeto.

Outro grande desafio foi a comunicação através de Wi-Fi, é um tipo de comunicação com baixa robustez suscetível a falhas e interferências devido à alta frequência em que essa comunicação é realizada. É um dos sistemas de elevada importância por assegurar a comunicação do veículo com o exterior. Para além disto as características do sistema usado fizeram com que fosse necessário manipular ficheiros de baixo nível do sistema operativo do sistema computacional, nomeadamente manipulação dos ficheiros de instalação dos drivers e da própria *Kernel*.

Além destes desafios, alguns aspetos que tiveram implicações no desenvolvimento do projeto foram as limitações da aquisição dos dados sensoriais, que necessitam de um meio *outdoor*, amplo e preferencialmente com céu limpo (para a devida receção de sinais GPS), e sem interferências magnéticas (para o correto funcionamento da bússola).

A generalidade do trabalho desenvolvido oferece-nos uma base sólida para o trabalho posterior a realizar no sentido do Projeto ICARUS, com vários pontos a trabalhar já identificados a curto e médio prazo.

7.2 Melhoramentos e Desenvolvimentos Futuros

Inúmeros aspetos do ASV desenvolvido poderão ser melhorados posteriormente e vários pontos críticos foram identificados. De seguida são apresentados esses pontos identificados organizados por pontos a melhorar a curto prazo a nível mecânico e funcional e por fim alguns pontos a trabalhar e desenvolver a médio prazo.

Ao nível da estrutura mecânica o ponto mais crítico encontra-se na fixação entre o tubo de acrílico e a estrutura mecânica que é baseada em abraçadeiras metálicas. A curto prazo é importante reformular esta solução conseguindo uma estrutura mais envolvente do tubo conseguindo maior fixação, maior dispersão da força de compressão aplicada e consequentemente menor deformação do tubo.

Para aumentar a flutuabilidade da plataforma de superfície permitindo o transporte de um *payload* superior, assim como para aumentar a estabilidade e a capacidade de navegação em águas turbulentas está pensado a substituição da plataforma de flutuação. Atualmente a plataforma é constituída por uma prancha de *bodyboard* e poderá ser substituída a curto prazo por uma prancha de surf permitindo o teste do sistema água mais turbulentas com maior ondulação.

Ao nível da eletrónica de bordo o sistema computacional poderá vir a ser substituído por outro tipo de sistema computacional, a solução PC/104 é vantajosa nesta fase inicial por ser de rápida integração e com capacidade elevada de memória permitindo o registo de todos os dados facilitando assim o trabalho de *debugging*, no entanto este tipo de solução também exige um consumo energético considerável. Como tal é pertinente substituir o sistema computacional, a curto prazo por uma plataforma baseada em processadores *ARM*, ou ainda poderá ser vantajoso optar posteriormente por uma plataforma baseada em microcontrolador, como por exemplo uma plataforma Arduíno.

A melhoria do sistema de comunicações é também um ponto a trabalhar a curto prazo. O sistema Wi-Fi instalado não é tão robusto quanto se pretende que um sistema de comunicações o seja pois é suscetível a falhas, devido a interferências externas e da comunicação a frequências relativamente elevadas (2.4GHz). Para além disto não permite a comunicação a médias e longas distâncias. Para colmatar este ponto crítico a instalação de comunicações por rádio representará um significativo avanço.

As baterias a bordo (2x77W) não permitem utilizar toda a potência que os propulsores dispõem (2x150W), a curto prazo será importante reestruturar o sistema energético e especificamente as baterias a placa de gestão das mesmas, por forma aumentar a potência disponível.

Outro ponto a trabalhar a curto prazo será a instalação de um sistema de ventilação na caixa que contém a eletrónica à superfície pois durante os testes verificou-se a acumulação de calor no seu interior o que em períodos de operação longos poderá trazer problemas à correta funcionalidade da eletrónica a bordo.

A médio prazo o ASV terá que ser reestruturado mecanicamente e ser desenvolvida uma arquitetura mais embebida e integrada que permita uma maior robustez e uniformização mecânica ao ASV.

A nível funcional terá também que ser desenvolvido um sistema de transporte e lançamento automático do equipamento de assistência ao naufrago.

Por fim será importante afinar as funcionalidades do sistema e o *software* a bordo, especialmente por forma ao ASV poder ser apetrechado com equipamentos e algoritmos de deteção e abordagem ao naufragos assim como de deteção e desvio de obstáculos.

Referências

- [1] V. Bertram, "Unmanned Surface Vehicles - A Survey", ed, 2007.
- [2] <http://www.gizmag.com/go/2440/>, consultado em 23/11/2011.
- [3] <http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/USV.aspx>, consultado em 23/11/2011.
- [4] http://www.boattest.com/boats/boat_video.aspx?id=129, consultado em 23/11/2011.
- [5] http://www.sea-doo.com/Archives/archives_2005/en-us/sportboats/2004/Challenger.2000/index.htm, consultado em 24/11/2011.
- [6] Roberts, G.N.; Sutton, R., *Advances in Unmanned Marine Vehicles*. Stevenage, UK: IET, 2006.
- [7] <http://www.vcinc.com/amn1usv.html>, consultado em 24/11/2011.
- [8] Payne Kilbourn; King George, VA; R. A. Dane, Greenwich, "<UNMANNED OCEAN VEHICLE>," US 2007/0051292 A1, 2007.
- [9] <http://www.uovehicles.com/index.html>, consultado em 24/11/2011.
- [10] J. E. Manley, "<Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development>," 2008.
- [11] http://www.lsa.isep.ipp.pt/roaz_home.html, consultado em 15/01/2012.
- [12] H. Ferreira, R. Martins, E. Marques, J. Pinto, A. Martins, J. Almeida, J. Sousa, E. P. Silva, "<SWORDFISH: an Autonomous Surface Vehicle for Network Centric Operations>," 2007.
- [13] Wasif Naeem; George W. Irwin, "Evasion Decision Making in uninhabited Maritime Vehicles", 2011
- [14] A. Tiano, et al., "The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 222, pp. 67-79, 2008.
- [15] <http://www.tech.plymouth.ac.uk/sme/springerusv/Springer.html>, consultado em 15/01/2012.
- [16] Alonzo Kelly, "Modern Inertial and Satellite Navigation Systems", Carnegie Mellon University, 1994.
- [17] <http://andredesign.carbonmade.com/projects/46902#1>, consultado em 17/01/2012.
- [18] <http://hydronalix.com/home.html>, consultado em 20/11/2011.
- [19] J. R. Higinbotham, P. G. Hitchener; J. R. Moisan, "Development of a New Long Duration Solar Powered.pdf>," 2006.
- [20] <http://www.trimble.com/embeddedsystems/lasseniq.aspx?dtID=overview>, consultado em 7/12/2011.

- [21] <http://gpsprimer.net/#axzz1faRCiRsR>, consultado em 7/12/2011.
- [22] http://www.navlab.net/Publications/Introduction_to_Inertial_Navigation.pdf, consultado em 7/12/2011.
- [23] <http://www.crustcrawler.com/products/urov2/index.php>, consultado em 7/12/2011.
- [24] V. Isastia and S. Meo, "Overview on automotive energy storage systems," *International Review of Electrical Engineering*, vol. 4, pp. 1122-1144, 2009.
- [25] T. A. Rocha, "Sistema de Alimentação de um VEC (Veículo Eléctrico de Competição)," DEEC, FEUP, Porto, 2011
- [26] <http://www.popsci.com/gadgets/article/2010-06/invention-month-robot-lifeguard>, consultado em 5/03/2012.
- [27] <http://hydronalix.com>, consultado em 5/03/2012.
- [28] <http://andredesign.carbonmade.com/projects/46902#1>, consultado em 5/03/2012.
- [29] <http://www.coroflot.com/andredesign/Seascout->, consultado em 5/03/2012.
- [30] G. F. Clauss, et al., "AGaPaS - Autonomous Galileo-supported rescue vessel for persons overboard," in *28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2009*, May 31, 2009 - June 5, 2009, Honolulu, HI, United states, 2009, pp. 267-276.
- [31] G. F. Clauss, et al., "Identification of favourable free fall parameters for the AGaPaS rescue catamaran," in *ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2011*, June 19, 2011 - June 24, 2011, Rotterdam, Netherlands, 2011, pp. 849-857.
- [32] [http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\),-1974.aspx](http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas),-1974.aspx), consultado em 8/03/2012.
- [33] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:239:0001:0051:PT:PDF>, consultado em 8/03/2012.
- [34] <http://www.nautica.com.br/noticias/viewnews.php?nid=ult00ff0f42fe6c719517d18a954694849b>, consultado em 8/03/2012.
- [35] <http://www.navis.gr/safety/general/liferaft.htm>, consultado em 8/03/2012.
- [36] <http://www.seaandshore.co.uk/zodiac/liferafts/opensea.htm>, consultado em 8/3/2012.
- [37] http://www.aife.pt/balsas_profissionais.html, consultado em 8/03/2012.
- [38] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pump-jet>, consultado em 9/03/2012.