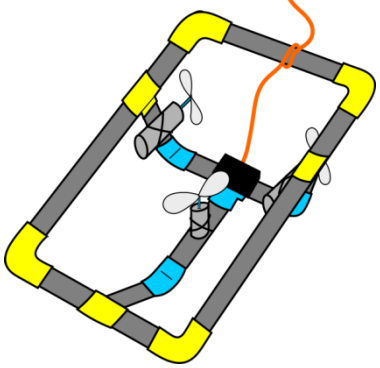
Observatório Oceânico da Madeira



ROBÓTICA SUBMARINA EDUCATIVA

Manual de construção de um pequeno ROV

FICHA TÉCNICA

Título: Robótica Educativa Submarina

Subtítulo: Manual de construção de um pequeno ROV

Textos e esquemas: Sónia Costa

Revisão: António Pascoal, Carlos Lucas, Jorge Monteiro, Manuel Biscoito, Patrício Ramalhosa; Pedro Neves; Rui Caldeira

Fotografia: As fotografias sem indicação de outra autoria são de Sónia Costa

Colaboração: Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN)

Edição: Observatório Oceânico da Madeira

Local: Funchal

Ano: 2017

Apoios:

Cofinanciado por:

Avisos de segurança

A manipulação de materiais elétricos e de produtos químicos, mesmo que considerados inofensivos, deve ser efetuada com precaução e responsabilidade para evitar possíveis acidentes. Por isso, para a construção e operação do ROV apresentado neste manual é preciso ter em atenção, para além das regras gerais de segurança, regras específicas de trabalhos com eletricidade e eletrónica, nomeadamente:

- Ter muito cuidado durante a utilização do ferro de soldar.
  - Garantir que o cabelo, roupa e mãos estão **afastados** do ferro.
  - **Não tocar** com a ponta do ferro em nenhum lado, exceto onde for indicado.
  - **Nunca** deixar o ferro de soldar ligado sem estar em utilização.
  - Colocar o ferro de soldar **sempre** no seu suporte.
  - **Não tocar** na soldadura até garantir que está fria.
  - Verificar sempre que o equipamento onde se insere a peça que se quer soldar não está ligado à corrente.
- Nunca tocar nos componentes elétricos enquanto estiverem ligados à corrente.

Em caso de acidente contactar
o Serviço Nacional de Emergência Médica

Ligar para o 112

ÍNDICE

1. Introdução 5

2. Os ROVs e a suas potencialidades 6

2.1. Utilização científica 7

2.2. Utilização cinematográfica 7

2.3. Utilização lúdica 8

2.4. Outras utilizações 8

3. ROVs de algumas instituições nacionais 9

3.1. ROV Luso 9

3.2. ROV SP 9

3.3. ROV Phantom S2 10

3.4. ROV Observer 10

3.5. OpenROV Stinger 10

4. Princípios gerais de funcionamento de um ROV 11

4.1. Componentes de um ROV 11

4.2. Princípios gerais de funcionamento de um ROV 13

4.2.1. Sentido de rotação dos motores 13

4.2.2. Flutuabilidade 15

5. Etapas de construção do ROV 17

5.1. Peças que fazem parte do kit 17

5.2. Material para construção da consola de controlo e chassi (não incluído no kit) 17

5.2.1. Material para construção da consola de controlo 17

5.2.2. Material para construção do chassi 18

5.2.3. Material para as ligações elétricas 19

5.2.4. Material para a montagem dos motores 19

5.2.5. Material para a montagem das hélices 20

5.2.6. Material para garantir a flutuabilidade do ROV 20

5.3. Construção do ROV passo a passo 21

5.3.1. Construção da consola 21

5.3.2. Construção do chassi 22

5.3.3. Instalação da componente elétrica do ROV 23

5.3.4. Fase de testes 33

6. Bibliografia 35

1. INTRODUÇÃO

Este manual é uma adaptação do manual desenvolvido pela Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN), integrado no seu programa EDUROVs (http://edurovs.eu/). A parceria do Observatório Oceânico da Madeira (OOM) com a PLOCAN possibilitou o fornecimento de alguns kits para construção de Veículos Operados Remotamente (ROVs, do inglês, *Remotely Operated Vehicles*), de que este manual faz parte.

Os ROVs têm uma ampla aplicabilidade na atualidade, mas nem sempre conhecida do público. Crê-se que há alguma falta de informação sobre a sua utilidade e importância no estudo do oceano, nomeadamente no seio da população escolar e, por isso, este kit pretende contribuir para um melhor conhecimento da robótica usada ao serviço da investigação marinha.

Neste manual, encontram-se as instruções detalhadas para a construção de um pequeno ROV, simples mas funcional, com recurso a materiais de fácil acesso e utilização (ex. PVC, madeira, fios elétricos, silicone) e outros que, por poderem ser mais difíceis de adquirir, são fornecidos no kit.

A construção do ROV proposta neste manual deve ser vista como um projeto multidisciplinar, pois mobiliza competências de diversas áreas do conhecimento. Pode incluir disciplinas tão diversas como a Educação Visual e Tecnológica, as Ciências Naturais, a Matemática ou as Ciências Físico-Químicas. Pretende-se, com este projeto, promover aprendizagens sobre as tecnologias de exploração marinha estimulando, simultaneamente, a criatividade e o raciocínio. No final da construção dos protótipos os alunos deverão ser capazes de operar o seu ROV na água.

Objetivos

- Conhecer as potencialidades dos ROVs na exploração científica e de recursos marinhos.
- Fomentar o interesse pelas ciências marinhas e pelas tecnologias de exploração do Oceano.
- Explorar conceitos físico-químicos como densidade, força, massa, gravidade, entre outras grandezas.

2. OS ROVS E A SUAS POTENCIALIDADES

Um ROV (do inglês, *Remotely Operated Vehicle*) é um veículo subaquático, controlado remotamente, que permite a exploração do fundo do mar e de estruturas submersas (**Figura 1**). A utilização deste tipo de tecnologia é variada, sendo usada:

Figura 1. ROV utilizado no estudo do Oceano.

- em investigação científica, incluindo a arqueologia;
- em operações militares e de segurança (busca e salvamento, investigação criminal);
- nas comunicações submarinas (colocação, inspeção e reparação de cabos submarinos);
- em diversas atividade industriais (tanto ao nível das energias renováveis como não-renováveis, em atividades de inspeção, construção, manutenção e reparação de estruturas submarinas).

Há uma grande variedade de ROVs e são múltiplas as suas capacidades. Características dos ROVs como o tamanho, peso, agilidade e potência são variáveis e permitem classificá-los em várias categorias (**Tabela 1**). Alguns são simples, apenas equipados apenas com câmaras de vídeo e luzes, mas outros são muito sofisticados, estando munidos de diversos tipos de sensores e com ferramentas capazes de efetuar diversos tipos de trabalho. Os mais pequenos são usados, principalmente, em locais onde é fisicamente impossível um mergulhador entrar, como oleodutos, esgotos, pequenas cavidades, sendo geralmente utilizados para observação e inspeção. Os de maiores dimensões estão apetrechados com braços manipuláveis e são utilizados em trabalhos mais complexos. A profundidade que podem alcançar também é variável, podendo chegar aos 7500 m.

Tabela 1. Classificação dos ROVs.

CATEGORIA	BREVE BESCRIÇÃO
Classe I – ROVs de observação	Veículos de pequeno tamanho, usados para inspeções e apoio a mergulhadores.
Classe II – ROVs de observação e pequeno trabalho	Veículos de observação que, para além de terem 2 câmaras de vídeos, podem estar munidos de vários sonares e 1 ou 2 manipuladores.
Classe III – ROVs de trabalho	São veículos suficientemente grandes para ter vários sensores e ferramentas. São muito versáteis podendo realizar vários tipos de trabalho.
Classe IV – ROVs rebocáveis ou que se deslocam sobre o fundo	São veículos muito grandes, pesados e bastante especializados. Os rebocáveis deslocam-se com recurso a um cabo preso a um rebocador; os que se deslocam sobre o fundo fazem-no através de rodas ou lagartas.
Classe V – Protótipos ou veículos em desenvolvimento	Veículos em desenvolvimento ou que são considerados protótipos. Todos os veículos que não se incluem nas outras classes são também incluídos nesta.

2.1. Utilização científica

A versatilidade dos ROVs tem permitido usá-los como aliados na investigação científica (**Figura 2**). Há ROVs adaptados para a ciência que potenciam a recolha de diversos tipos de amostras (geológicas, arqueológicas, biológicas). Normalmente estão equipados com acessórios que recolhem informação que é disponibilizada em tempo real. Uma vez que a gravação em vídeo é um componente muito importante da investigação científica do mar profundo, os ROVs têm de estar equipados com sistemas luminosos potentes e câmaras de vídeo de elevada qualidade. No entanto, a inclusão de sonares, magnetómetros, braços articulados para manipular ou cortar objetos, amostradores de água e de sensores que medem a turbidez da água, temperatura, densidade ou penetração luminosa é comum e permite a obtenção de uma grande variedade de dados científicos (**Figura 3**). Tudo isto torna esta tecnologia uma preciosa aliada de quem se dedica ao estudo do oceano. De facto, com recurso a este tipo de veículos têm sido descobertas ou estudadas várias espécies das profundezas do oceano, ou seja, de locais onde a informação é escassa ou mesmo inexistente por serem de difícil acesso por outros meios.

Figura 2. Imagens obtidas pelo ROV Liropus 2000 do Instituto Espanhol de Oceanografia, usado na missão MedWave, realizada no Mediterrâneo, durante a recolha de diversos tipos de amostras.

Figura 3. ROV Luso. A - Início da submersão do ROV. B - Recolha de amostras no fundo do mar.

2.2. Utilização cinematográfica

Nos últimos anos, a miniaturização das câmaras de vídeo tornou possível a colocação de câmaras de alta definição em ROVs mais pequenos e mais baratos, transformando estes veículos em plataformas ideais para a obtenção de imagens para filmes e documentários. Esta tecnologia tem permitido filmar em zonas profundas, confinadas e perigosas em que os mergulhadores não podem ir, revelando imagens únicas de locais e espécies nunca vistos.

2.3. Utilização lúdica

Figura 4. Evento de demonstração de ROVs construídos por grupos escolares, realizado em Las Palmas (Canárias).

Com o crescente interesse das pessoas por diversas questões relacionadas com o oceano e com a crescente disponibilidade de equipamentos a custo reduzido, os ROVs têm vindo a tornar-se um passatempo. Entusiastas desta modalidade têm construído pequenos ROVs recorrendo a materiais de fácil acesso e baixo custo, como por exemplo, tubos de PVC. Alguns destes veículos podem mesmo alcançar profundidades de 100 m. Estes ROVs são usados em piscinas ou lagos onde a água é calma, embora também possam ser realizados testes no mar. Neste caso, o ambiente marinho causa dificuldades adicionais devido à ondulação e às correntes. Essa agitação da água do mar faz com que o ROV se desvie do seu percurso ou esforce muito os motores para realizar as suas tarefas, podendo mesmo não o conseguir fazer. O interesse do público pelos ROVs tem levado à organização de competições em que os competidores realizam diversas tarefas com os seus veículos (**Figura 4**). Várias escolas e outras instituições têm aderido a projetos deste género.

2.4. Outras utilizações

Foram usados ROVs para localizar vários navios naufragados de interesse histórico, como o *Titanic*, o *Bismarck* ou o USS *Yorktown (CV-5)*, possibilitando mesmo a recuperação de algum material desses navios.

3. ROVS DE ALGUMAS INSTITUIÇÕES NACIONAIS

A versatilidade dos ROVs torna-os úteis em diversas situações, como referido anteriormente. Por isso, há diversas instituições que possuem este tipo de equipamentos. Segue-se uma breve descrição de alguns desses veículos pertencentes a instituições portuguesas.

3.1. ROV Luso

É um veículo de operação remota que consegue mergulhar até 6000 m de profundidade. Foi adquirido por Portugal, em 2008, ano em que também fez a sua primeira missão. Está equipado com diversos acessórios que permitem diversos tipos de recolhas e medições (**Figura 5**). O propósito de aquisição deste ROV foi a recolha de amostras geológicas do fundo marinho sob soberania portuguesa. Os dados obtidos serviram para fundamentar cientificamente a proposta portuguesa apresentada às Nações Unidas, em Maio de 2009, no âmbito do Projeto de Extensão da Plataforma Continental Portuguesa. As campanhas oceanográficas que têm sido realizadas com este ROV têm-se focado no mar profundo da plataforma continental portuguesa.

Figura 5. ROV Luso.
Foto: EMEPC

3.2. ROV SP

Trata-se de um mini-ROV (**Figura 6**) que pertence ao Departamento de Oceanografia e Pescas da Universidade dos Açores e que pode ser operado até 300 m de profundidade. Foi adquirido com o objetivo de realizar trabalhos de investigação científica nas zonas costeiras do arquipélago dos Açores, nomeadamente, prospeção da biodiversidade geral bentónica e pelágica, caracterização de habitats e prospeção e monitorização de fontes hidrotermais de baixa profundidade. Para além de ter duas câmaras de vídeo é possível ser equipado com outros sensores e equipamentos como sonares, sistema de navegação e braço articulado para recolha de amostras.

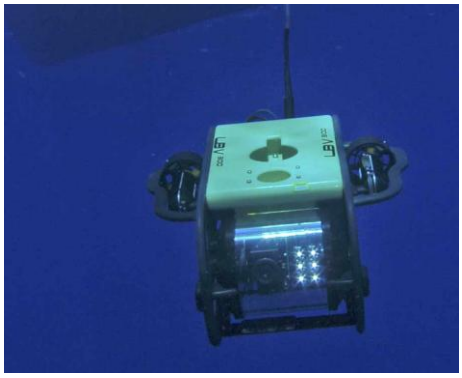


Figura 6. ROV SP.
Foto: DOP

3.3. ROV Phantom S2

O ROV Phanton S2 (**Figura 7**) está ao serviço do Instituto Hidrográfico desde 1985. É um ROV da Classe II, ou seja, de observação e pequeno trabalho, que pode operar até 200 m de profundidade, permitindo abranger a plataforma continental e águas interiores. Este ROV é utilizado em diversos tipos de missões, tais como, observação de destroços de navios e de aviões acidentados, vistoria de áreas de potencial perigo para a segurança da navegação, inspeção de estruturas subaquáticas (ex. emissários, fios, pilares de pontes), localização de equipamento oceanográfico perdido, apoio a operações de mergulhadores e trabalhos de caráter científico.

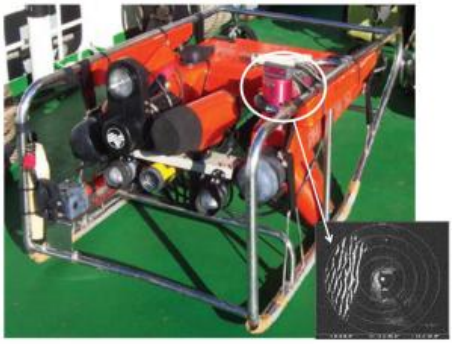


Figura 7. ROV Phantom S2.
Foto: Instituto Hidrográfico.

3.4. ROV Observer

O ROV Observer (**Figura 8**) também pertence à Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental. É um veículo da classe de observação que tem fácil portabilidade e, por ter baterias internas, pode operar em locais remotos onde é difícil obter uma fonte de energia. A profundidade máxima a que pode operar são 150 m.

Figura 8. ROV Observer.
Foto: EMEPC

3.5. OpenROV Stinger

É um ROV (**Figura 9**) que pertence ao Canning-Clode Marine Lab, situado na ilha da Madeira, e é usado para exploração dos fundos marinhos, principalmente para observação de espécies incrustantes em estruturas submersas como cascos de navios, plataformas portuárias, pontões, com o intuito de identificar espécies invasoras. É também utilizado para demonstrações em eventos educativos e de divulgação científica.

Figura 9. ROV Stinger.
Foto: Patrício Ramalhosa

4. PRINCÍPIOS GERAIS DE FUNCIONAMENTO DE UM ROV

Antes de iniciar a construção e operação do ROV proposto neste manual é necessário conhecer alguns conceitos e princípios fundamentais. Em primeiro lugar, é importante conhecer as partes e as peças que constituem um ROV. Em segundo lugar, é preciso ter em mente alguns princípios físico-químicos e elétricos que permitem o seu correto funcionamento.

4.1. Componentes de um ROV

Um ROV é composto por vários **componentes** (**Figura 10**), cada um apresentando uma função específica. Como os ROVs operam submersos, é imprescindível que os componentes e circuitos elétricos em contacto direto com a água estejam bem isolados. Caso contrário, o ROV não funcionará corretamente.

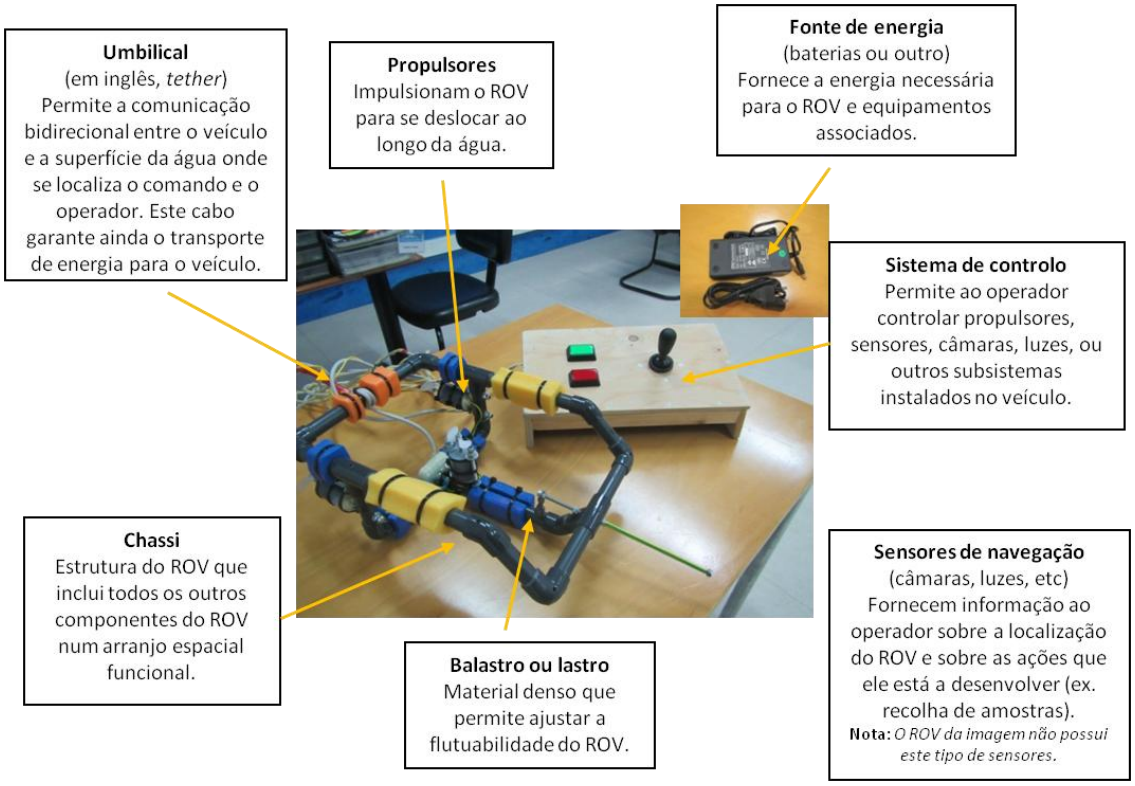


Figura 10. Componentes de um ROV.

O **sistema de propulsão** do ROV apresentado neste manual é garantido pela existência de **motores (Figura 11),** aos quais estão acoplados **hélices**.

Os **motores** têm como função a transformação da energia elétrica em energia mecânica. Essa transformação baseia-se nos princípios do eletromagnetismo, pois o motor usa o magnetismo para produzir movimento. Podemos referir, simplificadamente, que dentro de um motor simples há 2 ímanes: um íman permanente e um outro chamado eletroíman. Este último, apenas gera um campo magnético quando atravessado pela corrente elétrica. É a atração e repulsão entre os dois campos magnéticos, o do íman permanente e o do eletroíman, que vai criar um movimento rotacional.

Figura 11. Motores.

O movimento dos motores do ROV apresentado neste manual é controlado pela existência de elementos chamados **comutadores,** neste caso, de dois contactos (**Figura 12**). Estes elementos permitem ou bloqueiam a passagem da corrente elétrica. Quando o comutador não está pressionado (posição normal) impede a passagem da corrente, pois o circuito conecta diretamente o terminal comum (COM) ao terminal normalmente fechado (NF), impedindo a passagem da corrente pelo contacto normalmente aberto (NA) (**Figura 13**). Ao pressionar o comutador, estabelece-se a ligação entre o terminal comutador e o terminal NA, permitindo deste modo a passagem da corrente por este contacto.

A B

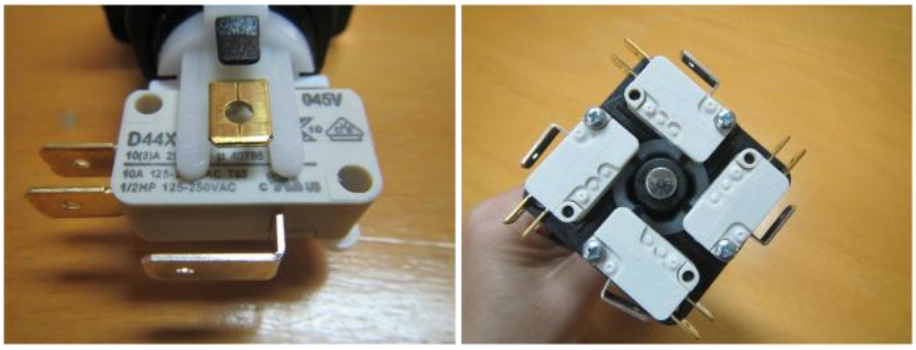


Figura 12. Elementos comutadores dos botões (A) e do *joystick* (B).

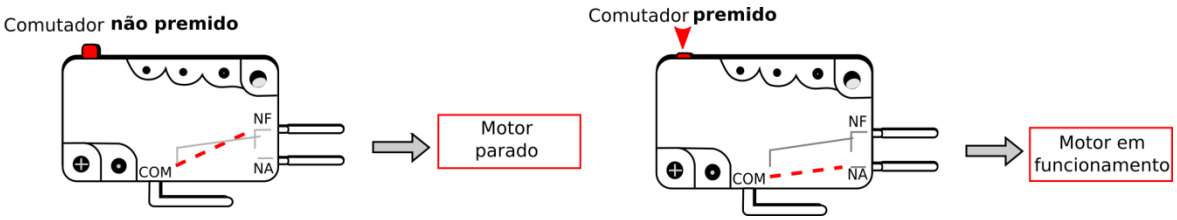


Figura 13. Esquema de funcionamento de um comutador. Comutador aberto e comutador fechado. COM - Terminal comum, NA - Terminal normalmente aberto, NF - Terminal normalmente fechado.

As **hélices** designam um conjunto de pás com um mesmo centro que gira em torno do seu eixo, descrevendo uma trajetória definida num movimento semelhante ao de uma rosca de parafuso. Estes componentes são os responsáveis por transformar a potência do motor em força que movimenta os veículos de que fazem parte. O movimento das hélices empurra o fluido que está em seu redor fazendo deslocar o veículo. A cada volta, as hélices percorrem uma determinada distância que é chamada passo da hélice.

Helicópteros e barcos, por exemplo, movimentam-se graças à rotação de hélices. Também no caso do ROV apresentado neste manual, é o movimento coordenado de 3 hélices (com 2 pás de 2 cm cada) que permite o movimento do veículo nas várias direções do espaço.

O **sistema de controlo** (**Figura 14**) do veículo é composto, no caso deste ROV, por dois tipos de comandos: um *joystick* e dois botões. O *joystick* permite realizar o controlo horizontal do veículo e os botões servem para comandar os movimentos verticais. Um dos botões serve para submergir o veículo e o outro para o emergir. Através de um cabo designado **umbilical**, as instruções fornecidas pelo operador na consola de controlo são transmitidas ao veículo.

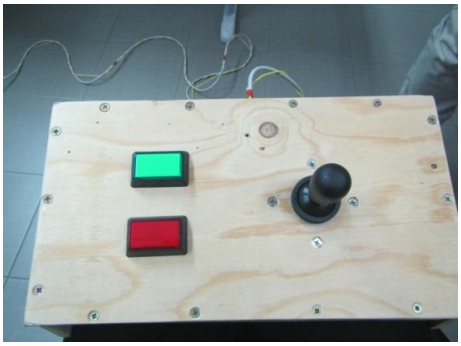


Figura 14. Consola de comando do ROV do kit educativo, onde é visível o *joystick* e os botões de subir e descer.

4.2. Princípios gerais de funcionamento de um ROV

4.2.1. Sentido de rotação dos motores

Para a montagem da parte elétrica do ROV é importante saber o **sentido de rotação dos motores** (**Figura 15**). Se o motor realizar uma rotação em sentido contrário aos ponteiros do relógio (sentido **anti-horário**), **empurrará a água para cima** e **deslocará o veículo para baixo**. Se o motor rodar no sentido dos ponteiros do relógio (sentido **horário**), **empurrará a água para baixo** e o **veículo deslocar-se-á para cima**. A troca de polaridade faz o motor girar num ou noutro sentido, impulsionando o veículo a deslocar-se para cima ou para baixo. Seguindo o mesmo raciocínio, se o motor estiver localizado na horizontal o movimento será para frente ou para trás.

Os motores fornecidos neste kit são motores de **corrente contínua**. Quando se conecta o polo positivo da fonte de alimentação ao terminal vermelho do motor (que também é positivo), e o polo negativo da fonte de alimentação ao terminal negativo do motor, o motor girará no sentido anti-horário. Se as conexões forem feitas ao contrário, ou seja, o polo negativo da fonte de energia for ligado ao polo positivo do motor e vice-versa o motor girará no sentido

horário. Estas ligações são importantes para ficarem de acordo com as instruções dadas pelo operador no *joystick*.

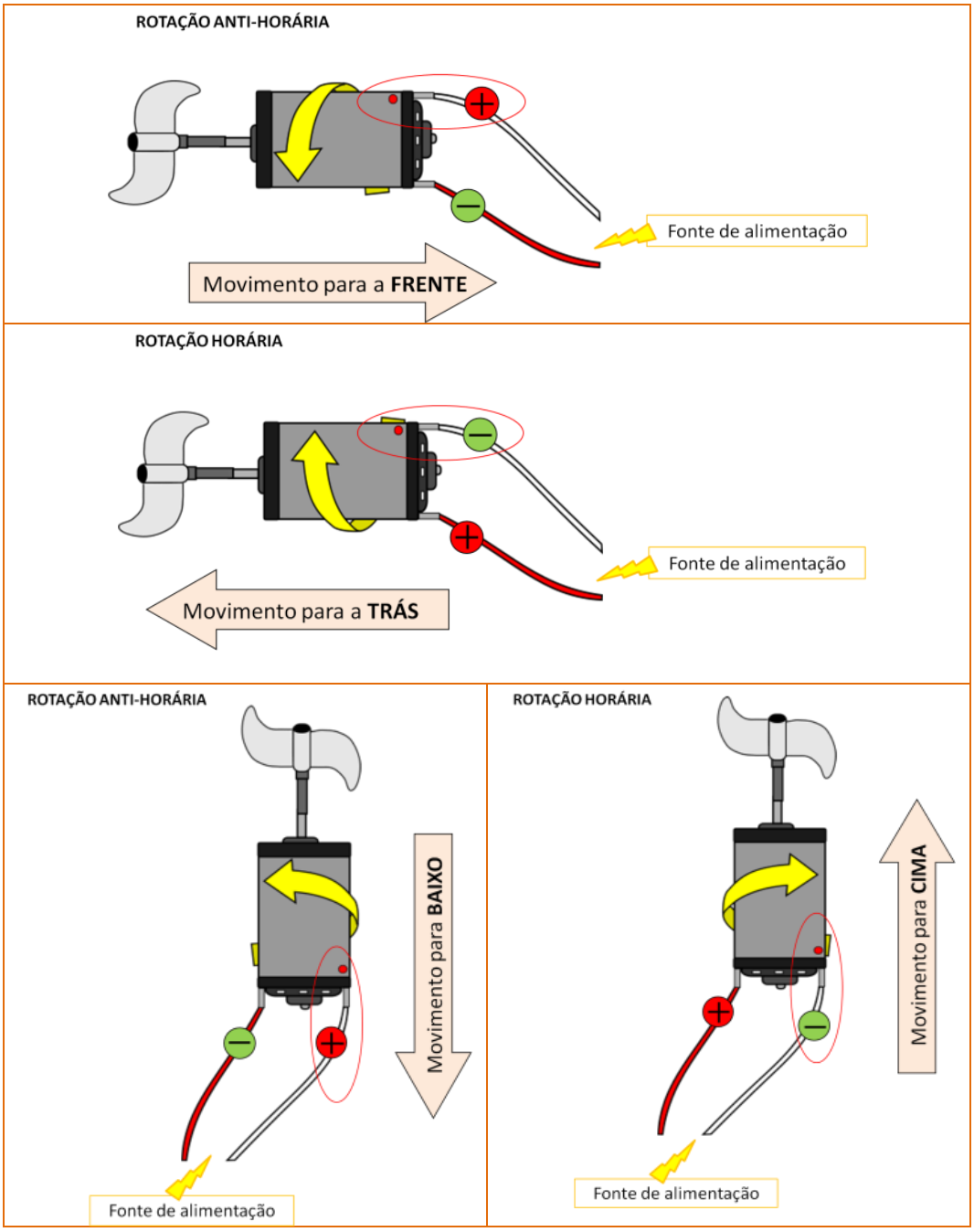


Figura 15. Esquema representativo do sentido de rotação do motor e consequente movimento do veículo.

4.2.2. Flutuabilidade

Um outro conceito, muito importante, que deve ser compreendido antes de iniciar a construção de um ROV é o de **flutuabilidade**. Esta grandeza física exprime a **tendência que um corpo imerso em água tem para subir, ou seja, para flutuar**. A densidade dos corpos é a principal responsável pela sua flutuabilidade.

Segundo o Princípio de Arquimedes: *Todo o corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) em repouso fica sujeito a uma força vertical de baixo para cima, cuja intensidade é igual ao valor do peso do fluido deslocado pelo corpo.* Esta força, que faz os corpos flutuar, denomina-se **impulsão** do fluido sobre o corpo (**Figura 16**).

Quando um corpo está totalmente imerso num líquido, podem ocorrer três situações de flutuabilidade (**Figura 16**):

- Flutuabilidade neutra - quando o corpo permanece **parado** no ponto em que foi colocado. Nesta situação, a intensidade da força de impulsão é igual à intensidade da força peso.
- Flutuabilidade negativa - quando a intensidade da força de impulsão é menor que a intensidade da força peso. Neste caso, o corpo entra em processo de submersão, ou seja, **afunda**.
- Flutuabilidade positiva - quando a intensidade da força de impulsão é maior do que a intensidade da força peso. Nesta situação, o corpo **flutua**.

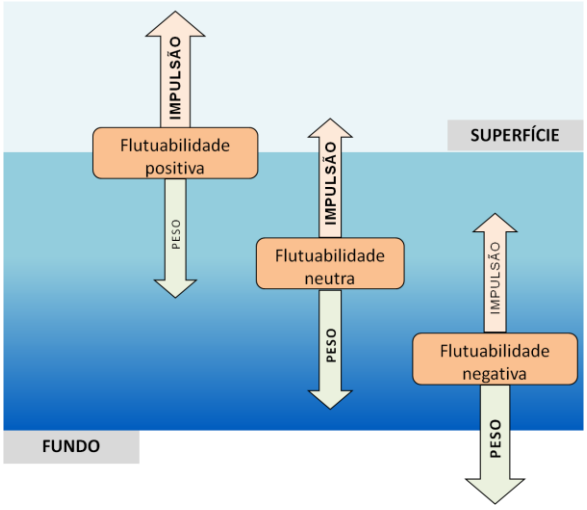


Figura 16. Equilíbrio hidrostático.

O controlo da flutuabilidade dos ROVs é feito com base na **alteração da sua densidade.** Isso consegue-se através da colocação de materiais mais ou menos densos na sua estrutura. Adicionando materiais mais densos do que a água (o chamado lastro) aumentamos o peso do ROV fazendo-o afundar, ou seja, fica com flutuabilidade negativa. Pelo contrário, colocando no ROV materiais menos densos do que a água, aumentamos a força de impulsão e consegue-se que o ROV flutue, ou seja, que fique com flutuabilidade positiva. Normalmente, o lastro é posicionado nas zonas inferiores do ROV e os materiais flutuantes nas zonas superiores. O lastro do ROV inclui todos os materiais que o constituem que sejam mais densos do que a água, por exemplo, os

motores, luzes, câmaras, etc. No entanto, apesar de todo este lastro já existente no ROV, por vezes, é necessário adicionar lastro extra para efetuar reajustes.

A escolha de uma flutuabilidade positiva ou negativa para o ROV vai depender do tipo de trabalho que se pretende realizar. Nos casos em que se pretende que o ROV realize trabalhos junto ao fundo, torna-se a sua flutuabilidade negativa adicionando, normalmente, chumbo. Pelo contrário, quando queremos que o ROV tenha flutuabilidade positiva, o ajuste é feito através da colocação de placas de espuma sintática para aumentar a impulsão. Esta espuma é um material muito usado nestes veículos por ser extremamente leve, flexível e ter a capacidade de suportar deformações. Quaisquer alterações à flutuabilidade neutra do ROV devem ser sempre ligeiras de forma a garantir a fácil operacionalidade do veículo.

5. ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DO ROV

5.1. Peças que fazem parte do kit

O kit para construção do ROV educativo inclui peças que poderiam ser de difícil aquisição (**Figura 17**). No entanto, há outros materiais necessários à montagem do ROV que, por serem facilmente adquiridos, não estão incluídos no kit.

A- 1 cabo de rede CAT.5E (+/- 7 metros)
B- 1 transformador AC/DC (12 V, 5 A)
C- 3 frascos para suporte dos motores
D- 1 controlador (*joystick*)
E- 1 fusível de 3 A + 1 porta-fusível
F- 3 eixos de hélice + 3 porcas
G- 1 terminal de conexão (*jack-fêmea*)
H- 3 motores de C.C. 12 V e 0,27 A, de 5500 rpm
I- 3 hélices + 3 adaptadores
J- 2 botões luminosos (1 verde e 1 vermelho)

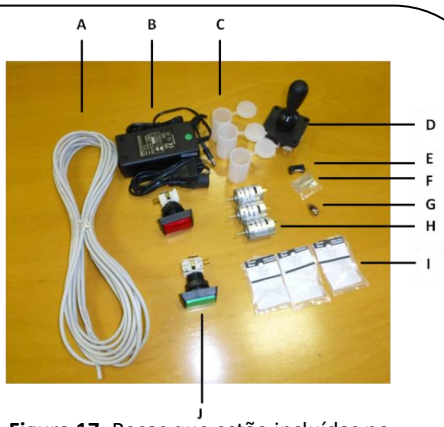


Figura 17. Peças que estão incluídas no kit educativo do ROV.

5.2. Material para construção da consola de controlo e chassi (não incluído no kit)

5.2.1. Material para construção da consola de controlo

A consola de controlo através da qual se comandará o ROV educativo poderá ser feita com diversos materiais, dependendo da criatividade e a disponibilidade de recursos (**Figura 18**).

Figura 18. Modelos de consolas apresentados no evento EDUROVs 2016, em Las Palmas (Canárias), organizado pela PLOCAN.

Para a consola padrão construída em madeira (**Figura 19**) foram necessários vários materiais e ferramentas para além dos incluídos no kit.

- Madeira
- Parafusos (mínimo 8) (ou pregos + martelo)
- Serra de madeira
- Régua
- Berbequim
- Cola de madeira

Figura 19. Consola feita em madeira.

5.2.2. Material para construção do chassi

Há vários modelos de chassi (**Figura 20**). Para a construção do chassi do ROV da **Figura 21** foram necessários os seguintes materiais:

- 2 m de tubo PVC de 20 mm de diâmetro, sem rosca, para cortar com diferentes tamanhos, de acordo com as dimensões que indicadas mais abaixo.
- 6 cotovelos de 90° de 20 mm
- 3 cotovelos de 45° de 20 mm
- 4 uniões T de 20 mm
- Corta-tubos ou serra
- Lixa
- Cola de PVC

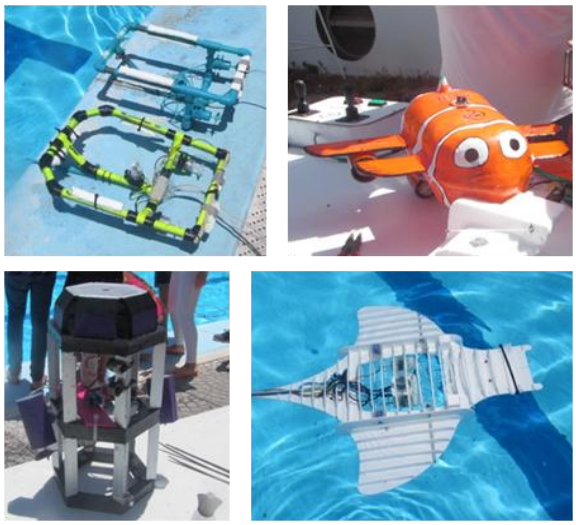


Figura 20. Diversos tipos de chassi. Modelos apresentados no evento EDUROVs 2016, em Las Palmas (Canárias), organizado pela PLOCAN.

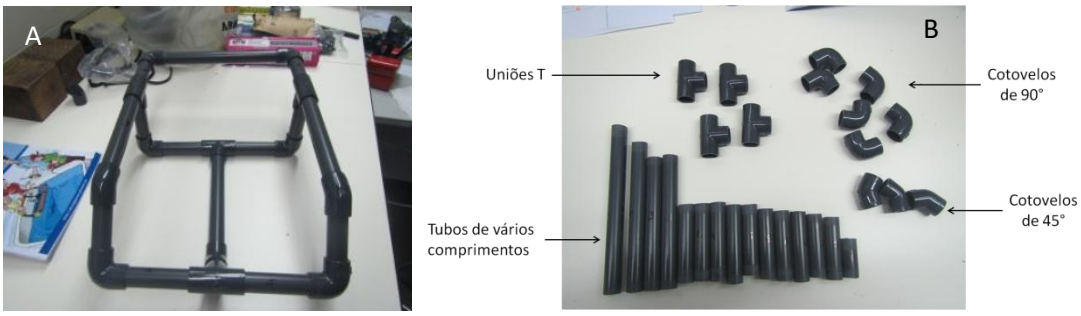


Figura 21. Exemplo de um chassi de um ROV feito em PVC (A) e peças usadas na sua construção (B).

5.2.3. Material para as ligações elétricas

- 24 conectores *fast-on* fêmea
- 1 barra de junção grande de 2 entradas
- 2 barra de junção médias de 6 entradas
- Abraçadeiras de fivela média
- 30 fios elétricos de 1-1,5 mm de diâmetro, com cerca de 30 cm de comprimento, preferencialmente de diversas cores para facilitar a sua identificação (**Figura 22**). Nos esquemas ilustrados apresentados neste manual utilizaram-se as seguintes combinações (poderão ser usadas menos cores, mas esta combinação facilita a identificação dos fios no circuito):
  - 7 fios elétricos de cor castanha
  - 7 fios elétricos de cor azul
  - 2 fios elétricos de cor verde escuro
  - 2 fios elétricos de cor laranja
  - 2 fios elétricos de cor lilás
  - 2 fios elétricos de cor preta
  - 2 fios elétricos de cor vermelho
  - 2 fios elétricos de cor branca
  - 2 fios elétricos de cor verde clara (1 deverá ser mais pequeno, por ex. com 10 cm)
  - 2 fios elétricos de cor amarela (1 deverá ser mais pequeno, por ex. com 10 cm)

Figura 22. Fios elétricos.

- Polistireno expandido ou cortiça para ajustar a flutuabilidade do ROV.
- Material que sirva de lastro (ex. chumbos de pesca, porcas, etc) em quantidade que dependerá da necessidade de estabilização do veículo na água
- Fita isoladora
- Cola quente
- Cera quente de depilação ou silicone líquida
- Ferro de soldar
- Alicate
- Berbequim
- X-ato

5.2.4. Material para a montagem dos motores

- 6 varões roscados com 4 mm de diâmetro e 8-9 cm de comprimento
- Anilhas com 4 mm de diâmetro (no mínimo 12)
- Porcas com 4 mm de diâmetro (no mínimo 12)
- Abraçadeiras de fivela média (no mínimo 6)

5.2.5. Material para a montagem das hélices

- 3 anilhas com 3 mm de diâmetro
- 3 porcas com 3 mm de diâmetro
- cola para metal

5.2.6. Material para garantir a flutuabilidade do ROV

- Polistireno expandido, cortiça ou esponja
- X-ato
- Fita adesiva ou abraçadeiras de fivela
- Materiais que sirvam de lastro (ex. chumbos de pesca ou porcas metálicas)

5.3. Construção do ROV passo a passo

5.3.1. Construção da consola

1- Com um lápis, fazer as marcações na madeira de acordo com o plano da **Figura 23**.

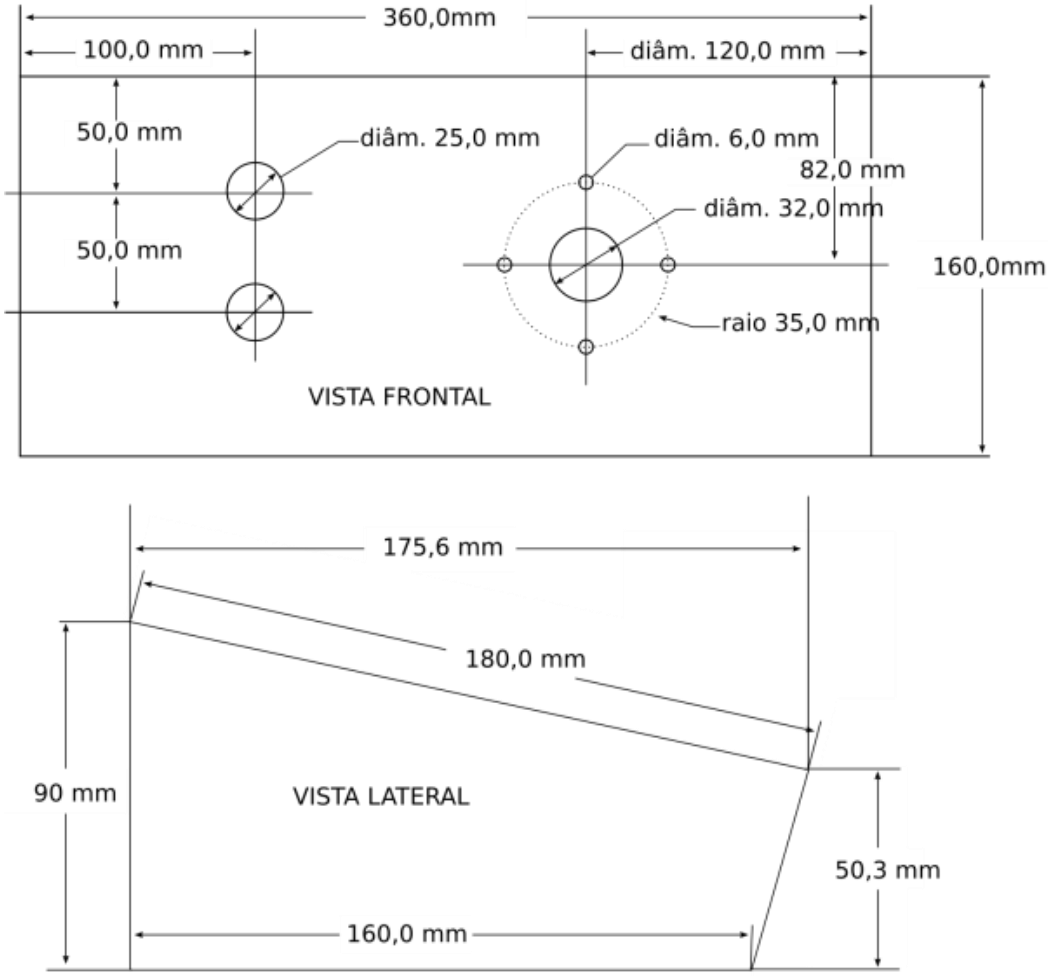


Figura 23. Planta da consola de controlo.

2- Cortar a madeira de acordo com as marcações previamente feitas.

3- Para a zona frontal e traseira da consola cortar 2 peças de madeira que encaixem entre as laterais. Deverão ter a altura das laterais correspondentes, descontando a altura da madeira.

4- Fazer os furos para inserir os botões e para o *joystick*, de acordo as dimensões do esquema. Para tal, o ideal é usar um berbequim equipado com uma broca de madeira.

5- Colar as várias peças de madeira e, para melhor fixação, usar também pregos ou parafusos.
6- Instalar os botões.
7- Instalar o *joystick* tendo o cuidado de o colocar numa posição romboidal (**Figura 24**).
8- Personalizar a consola com a decoração escolhida.

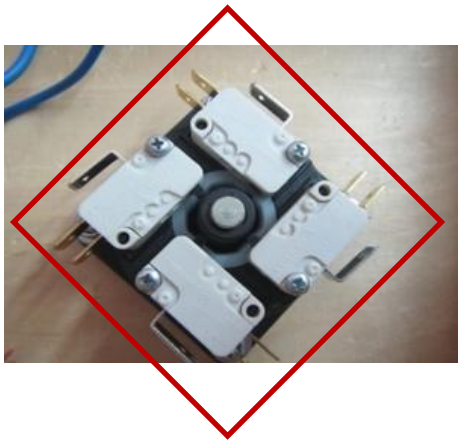


Figura 24. Posição romboidal do *joystick* (perspetiva inferior).

5.3.2. Construção do chassi

1- Marcar os 2 metros de tubo de PVC de acordo com as dimensões e número de peças indicadas na **Tabela 2** e na **Figura 25**.
2- Cortar os tubos com um corta-tubos ou com uma serra, de acordo com as dimensões previamente marcadas.
3- Lixar o rebordo das extremidades cortadas dos tubos.
4- Colar as peças de PVC umas às outras, de modo a construir a estrutura do veículo. Deverá obter-se uma estrutura semelhante à da **Figura 21**.
5- Com o berbequim, fazer furos nas uniões do chassi (ex. cotovelos e uniões T) para criar orifícios que permitam a entrada de água ao submergir o veículo. Caso contrário, o veículo ficará a flutuar por conter ar no interior da estrutura, o que dificultará a pilotagem.

Tabela 2. Medidas das peças de PVC.

Comprimento (mm)	Nº de peças	Localização na estrutura	Nº no Esquema da Tabela 1
210	1	Central traseira	**1**
185	1	Central inferior	**2**
165	2	Central lateral	**3**
95	4	Horizontais	**4**
85	4	Laterais traseiras e verticais	**5**
75	2	Oblíquos dianteiros	**6**
45	1	Oblíquo central	**7**

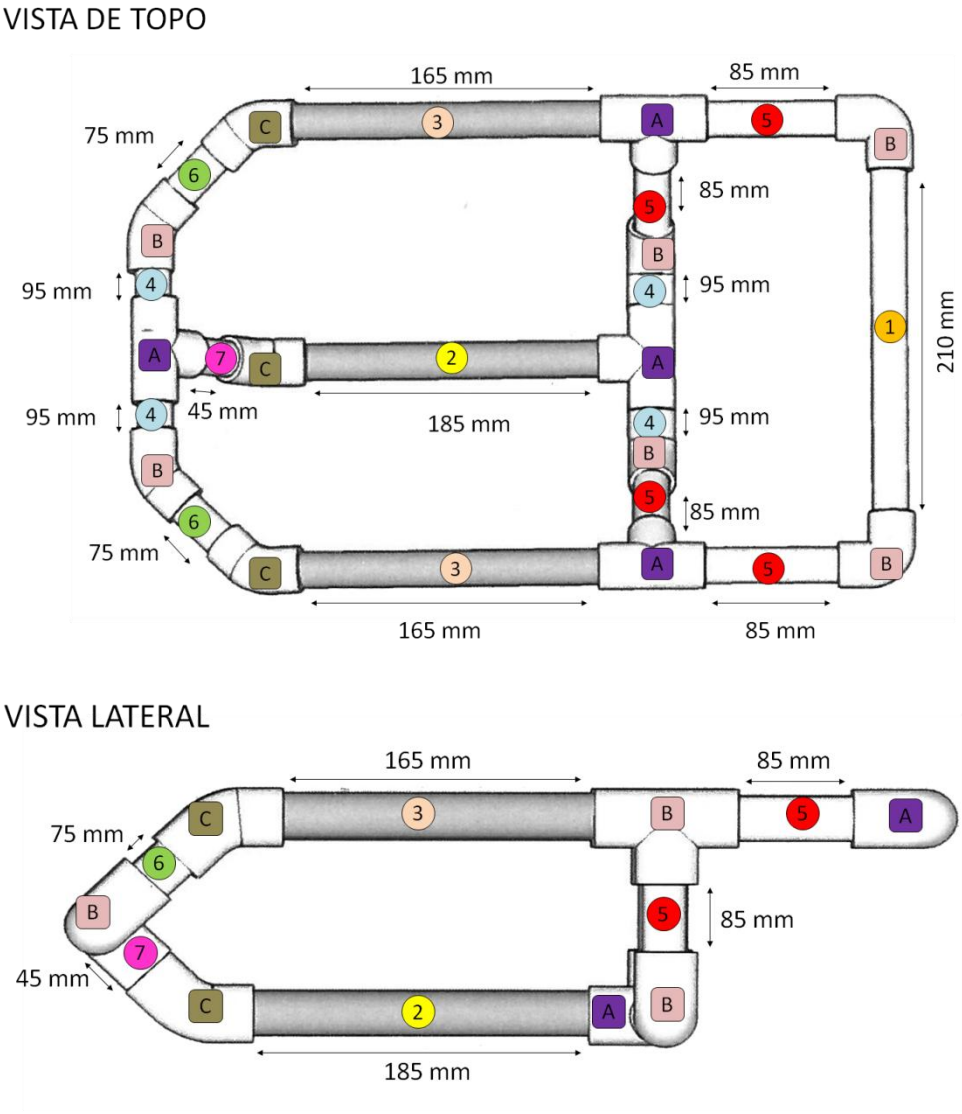


Figura 25. Esquema do chassi, com indicação nas medidas de cada peça e do número correspondentes às características indicadas na Tabela 1.

5.3.3. Instalação da componente elétrica do ROV

Como referido anteriormente, para facilitar a identificação dos fios é preferível utilizar fios de cores diferentes paras as distintas ligações. Na **Figura 26** apresenta-se o esquema das ligações elétricas do ROV modelo apresentado neste manual.

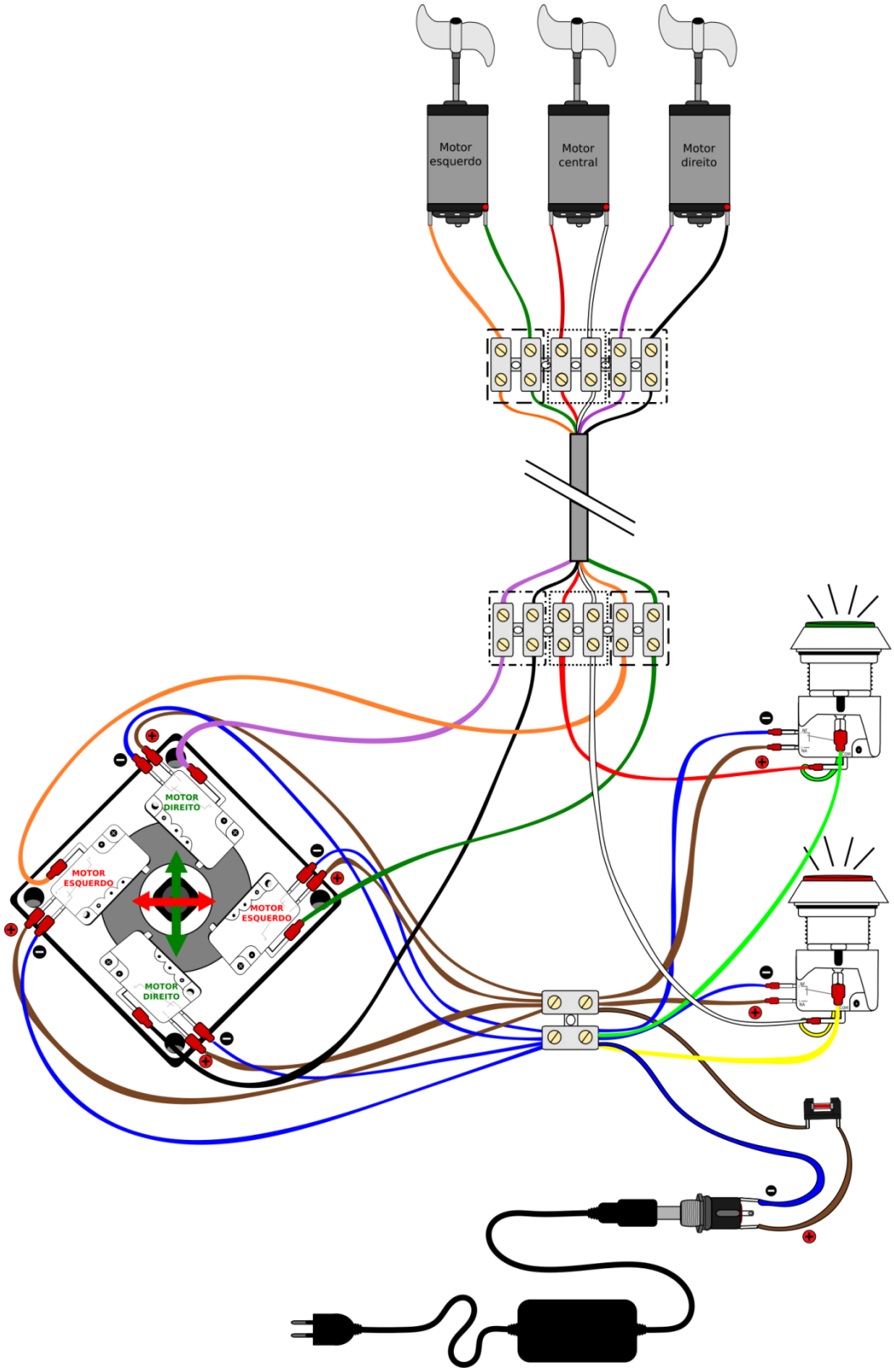


Figura 26. Representação esquemática do circuito elétrico do ROV.

5.3.3.1. Preparação dos fios

Todos os fios usados têm de ser previamente preparados, como se explica nos pontos seguintes.

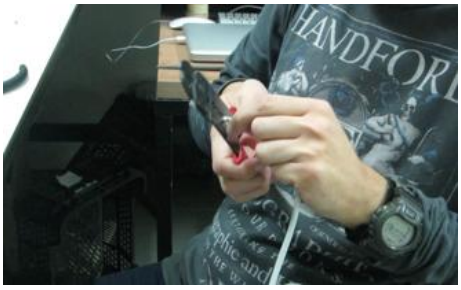


Figura 27. Utilização de um descarnador de fios.

1- Descarnar, com um descarnador (ou na sua falta, com uma tesoura ou alicate), os 30 fios retirando cerca de 1 cm do isolante num único extremo dos fios (**Figura 27**).
2- Estanhar a ponta recém-descarnada dos fios. Para isso, aplicar calor, com o ferro de soldar, sobre os fios de cobre e deixar 3 a 4 segundos para que o cobre adquira a temperatura adequada, acrescentando depois solda de estanho entre o ferro de soldar e o fio. As soldaduras brilhantes e côncavas indicam uma união bem efetuada, enquanto as que se apresentam sob forma de bolhas e opacas indicam uma má soldadura.

5.3.3.2. Cravação dos conectores *fast-on*

Para facilitar as conexões e evitar falhas no circuito elétrico recorre-se a conectores *fast-on*. Estes conectores dispensam soldadura.

Figura 28. Fios com conectores *fast-on* cravados numa das extremidades (e com uma manga protetora opcional).

1- Descarnar e cravar os conectores *fast-on* à extremidade não estanhada de 22 fios (**Figura 28**) (ex. 6 azuis, 6 castanhos, 2 amarelos, 2 verdes claro, 1 laranja, 1 preto, 1 lilás, 1 vermelho, 1 branco e 1 verde escuro).
2- O processo de cravação é feito através da introdução do conector *fast-on* no extremo do fio e com a ajuda de um alicate de cravar terminais (utensílio mais adequado), ou de um alicate, apertar contra o fio até ficar bem agarrado. Garantir que o fio fica bem preso ao conector, ou seja, que a lingueta externa fixa o fio na zona do isolante (plástico envolvente) e que a lingueta interna apanha o interior do fio (cobre).

5.3.3.3. Ligação dos fios elétricos ao *joystick*

1- Atribuir os 4 comutadores do *joystick* aos 2 motores horizontais do ROV, tendo em conta que comutadores diametralmente opostos devem pertencer ao mesmo motor. No caso da **Figura 29,** foi feita a correspondência dos comutadores horizontais ao motor esquerdo e os dois verticais ao motor direito.
2- Ligar 4 fios azuis previamente preparados (descarnados, estanhados e cravados) aos terminais de cada um dos comutadores normalmente fechados (NF) do *joystick* e 4 fios castanhos aos comutadores normalmente abertos (NA) (**Figura 29**).
3- Ligar os fios previamente atribuídos aos terminais comutadores (COM) correspondentes a cada motor. No caso da **Figura 29,** o fio preto e o fio lilás foram atribuídos aos terminais COM do motor direito e os fios laranja e verde-escuro aos terminais COM do motor esquerdo.

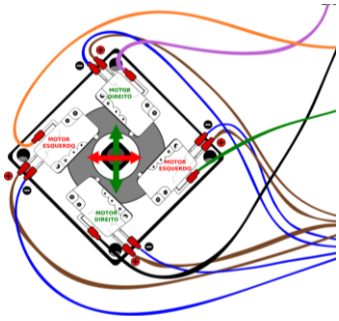


Figura 29. Ligação dos fios aos terminais normalmente fechados (NF), normalmente abertos (NA) e comutadores (COM) do joystick.

5.3.3.4. Ligação dos fios aos botões

O motor que promove o movimento vertical do ROV está ligado a 2 comutadores controlados por 2 botões; um promoverá o movimento de subida do ROV e o outro fará o movimento de descida, já que através deles ocorrerá a rotação da hélice. Os 2 comutadores dos botões têm mais 2 terminais que promovem as ligações necessárias para acender as lâmpadas existentes dentro deles. Quando se carrega no botão, para além de se promover o movimento do motor, acendem-se as lâmpadas que os iluminam internamente.

Segue-se o procedimento para efetuar as ligações dos fios aos botões. Os 8 fios de 30 cm (1 verde-claro, 1 amarelo, 2 azuis e 2 castanhos e 2 vermelhos de 30 cm) devem estar previamente estanhados numa extremidade e possuir 1 conector *fast-on* na outra. Ambos os fios de 10 cm (1 verde-claro e 1 amarelo) devem possuir um conector numa das extremidades.

1- Conectar 1 fio azul ao terminal NF e 1 fio castanho ao terminal NA de cada um dos botões.
2- Conectar 1 fio vermelho ao terminal COM do botão

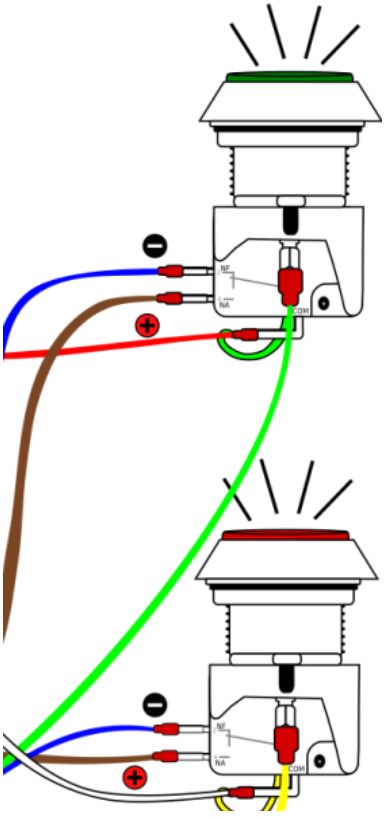


Figura 30. Fios ligados a cada um dos botões.

verde e 1 fio verde-claro ao terminal COM do botão vermelho.

3- Conectar o fio verde-claro de 30 cm a um dos terminais da lâmpada e a extremidade com o conector *fast-on* do fio verde-claro de 10 cm ao outro terminal da lâmpada. Repetir este procedimento para o botão vermelho, neste caso, usando os fios amarelos.
4- Juntar a outra extremidade dos fios de 10 cm ao terminal COM dos botões, onde já estava ligado o fio branco ou vermelho, dependendo do botão. Ou seja, ao terminal COM de cada botão ficará ligado um conector *fast-on* com 2 fios (1 que será ligado à caixa de junção e que fará a ligação ao motor vertical e 1 ligado à lâmpada), conforme visível no esquema da **Figura 30**.

5.3.3.5. Preparação da ligação à fonte de alimentação

1- Descarnar e estanhar as extremidades de 1 fio castanho e de 1 fios azul.
2- Soldar o fio azul ao terminal negativo e o fio castanho ao terminal positivo do *jack-fêmea* (**Figura 31**).
3- Cortar o fio castanho ao meio, descarnar e estanhar as extremidades recém cortadas.
4- Soldar a extremidade do fio castanho proveniente do *jack-fêmea* ao porta-fusível e uma extremidade do fio castanho recentemente cortado à outra conexão do porta-fusível (**Figura 31**).
5- Para garantir uma melhor fixação e isolamento destas conexões, as mesmas podem ser protegidas com fita isoladora ou, alternativamente, com manga termo-retrátil (**Figura 31**).

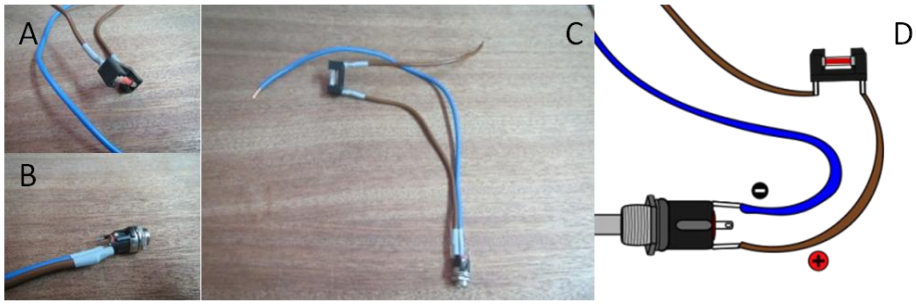


Figura 31. Ligações elétricas do porta-fusível e do *jack-fêmea*. A- ligações do fusível; B- ligações do *jack-fêmea*; C- porta-fusível e ficha prontos para conectar à fonte de alimentação; D- Representação esquemática das ligações do *jack-fêmea* e do porta-fusível.

6- Colar o porta-fusível à consola para evitar que fique solto (**Figura 32B**).
7- Fixar o *jack-fêmea* à consola numa posição que permita fácil ligação ao transformador (**Figura 32A**). Apesar de na **Figura 32** estar representada uma fixação recorrendo a uma placa de acrílico, o mais fácil será colar o conector diretamente à madeira com cola quente.

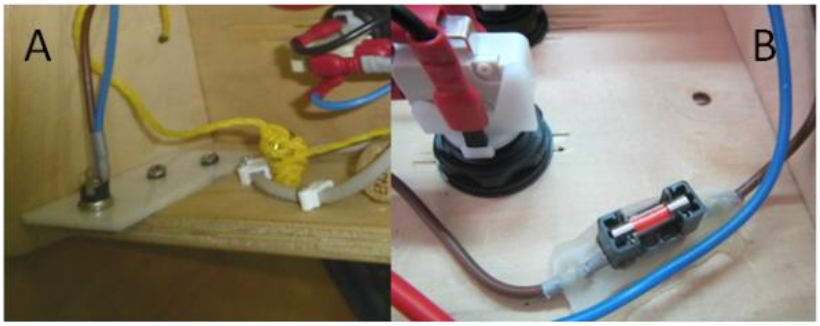


Figura 32. Fixação do *jack-fêmea* e do porta-fusível à consola.

5.3.3.6. Ligação dos fios aos motores

Para a escolha dos fios que se vão ligar aos motores, o ideal é fazer coincidir a combinação de cores dos fios do motor à combinação de cores que se usar para conectar os comutadores do *joystick* e dos botões. Assim, será mais fácil saber qual o motor que se movimenta na vertical e quais os que se movimentam na horizontal. Para tal, deve proceder-se do seguinte modo:

1- Escolher os pares de fios para ligar aos 2 polos dos motores e soldá-los nos respetivos terminais (**Figura 33**). A combinação de fios nos motores dos esquemas ilustrativos (**Figura 34)** deste manual é a seguinte:
   - **Motor esquerdo (bombordo) -** Fio verde-escuro ligado ao polo assinalado com um círculo vermelho no motor (que corresponde ao polo positivo do motor) + fio laranja ligado ao outro polo do motor (correspondente ao polo negativo)
   - **Motor central -** Fio branco ligado ao polo assinalado com um círculo vermelho no motor (polo positivo) + fio vermelho ligado ao outro polo do motor (correspondente ao polo negativo)
   - **Motor direito (estibordo) -** Fio preto ligado ao polo assinalado com um círculo vermelho no motor (polo positivo) + fio lilás ligado ao outro polo do motor (correspondente ao polo negativo).

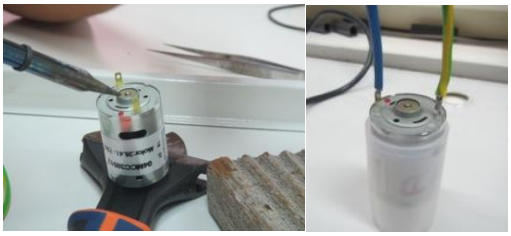


Figura 33. Soldadura dos fios aos terminais do motor.

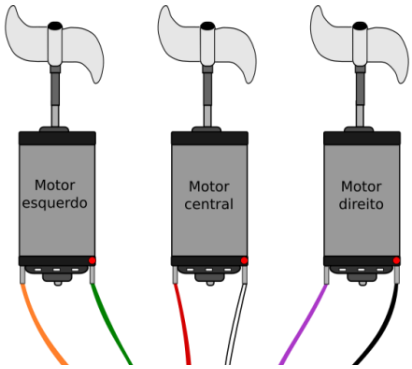


Figura 34. Combinação de cores dos fios correspondentes a cada motor.

5.3.3.7. Isolamento dos motores

Como os motores vão funcionar debaixo de água terá de se garantir o seu perfeito isolamento da água, do modo como a seguir se indica.

1- Cobrir os motores com fita isoladora, exceto o eixo do rotor dianteiro e a parte traseira central, evitando vincos por onde possa entrar água.
2- Tapar os buracos da zona traseira do motor com cola quente, tendo o cuidado de não colocar cola no rotor.
3- Espalhar vaselina no eixo do rotor traseiro e colocar por cima um pedaço de plástico do tamanho do rotor (ex. a capa de plástico de um pionés).
4- Acrescentar cola quente sobre o rotor previamente protegido com vaselina e o plástico.
5- Com um berbequim, equipado com uma broca de 2,5 mm, fazer 1 furo no centro da base de cada frasco de plástico. É nestes buracos que serão inseridos os eixos dos motores. Caso não se disponha de berbequim e broca, pode-se fazer o furo com outro tipo de material perfurante. Ter cuidado de fazer o furo com o tamanho suficiente para caber apenas o eixo do motor, sem ficar apertado ou largo demais.
6- Cobrir o eixo do motor com vaselina de modo a formar um pequeno cone (**Figura 35**).
7- Cortar a tampa dos frascos de plástico. Introduzir o motor no frasco com o eixo inserido no furo feito previamente (**Figura 36**).
8- Derreter cera quente de depilação ou, opcionalmente, usar silicone líquida.
9- Verter a cera ou silicone líquida sobre a parte traseira do motor até à borda do frasco e sobre a parte soldada dos fios (**Figura 37**). Deixar secar.

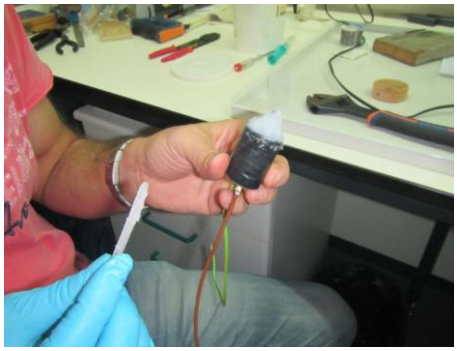


Figura 35. Eixo do rotor coberto com vaselina.

Figura 36. Inserção do motor no frasco de plástico.

Figura 37. Isolamento dos motores com cera derretida.

5.3.3.8. Montagem dos motores no chassi

Deve-se selecionar o local do chassi onde serão fixados os motores tendo em conta que o veículo se desloca impulsionando a água, pelo que o lugar onde serão instalados não deve ter nada a obstruir o movimento. O motor vertical deve ser instalado, preferencialmente, no centro de gravidade da estrutura, ou seja, no tubo inferior central, e orientado para cima (**Figura 38**). Os motores horizontais devem ser colocados nas barras laterais da estrutura, orientados para trás e alinhados um com o outro (**Figura 38**).

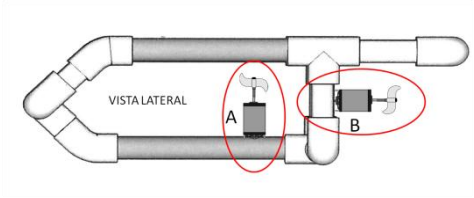


Figura 38. Localização do motor vertical (A) e dos motores horizontais (B) no chassi do ROV.

1- Com um berbequim equipado com uma broca adequada ao diâmetro do varão (4 mm), fazer 2 furos nas barras laterais do chassi, alinhados e distanciados o suficiente para posicionar entre eles os motores já encapsulados.
2- Fazer mais 2 furos na barra central do chassi, de modo a posicionar o motor orientado para cima.
3- Inserir os varões roscados nos furos.
4- Acrescentar a cada lado dos varões uma anilha e uma porca de 4 mm.
5- Posicionar os motores entre os varões e fixá-los com abraçadeiras (**Figura 39**).
6- Reforçar a fixação dos motores com cola quente, caso seja necessário.

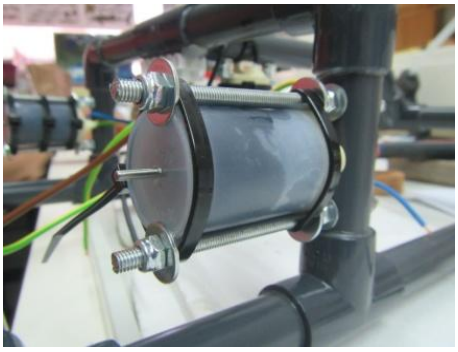


Figura 39. Fixação dos motores no chassi do veículo.

5.3.3.9. Montagem das hélices e sua instalação no eixo do motor

No modelo de ROV apresentado neste manual são usadas 3 hélices de 2 pás e adaptadores para conseguir fazer a sua fixação ao eixo do motor.

1- Colocar cola para metal na zona mais estreita do conector.
2- Antes de a cola secar, colocar 2 anilhas no conector das hélices, seguida da hélice com a ranhura virada para as anilhas e, por fim, nova anilha e uma porca.
3- Apertar a porca com um alicate e cobri-la também com cola (**Figura 40**). Deixar secar bem.

Figura 40. Montagem das hélices.

4- Aplicar cola de metal no extremo do eixo do motor tendo atenção para não chegar à base do eixo, pois isso impedirá o seu funcionamento. Antes de a cola secar, encaixar a hélice e apertar com um alicate para ficar bem fixo, mas evitando cortar o conector (**Figura 41**).

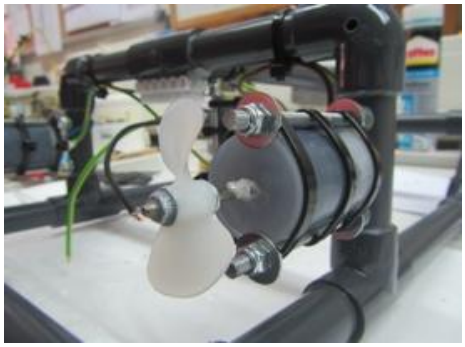


Figura 41. Hélice fixa ao eixo do motor.

5.3.3.10. Preparação e colocação das barras de junção na consola

1- Colar na consola 2 barras de junção: uma com 2 entradas e de tamanho grande e outra de 6 entradas e um pouco mais pequena numa posição que permita a ligação dos fios provenientes do *joystick* e dos botões. Na **Figura 42**, a barra de junção que deveria ser só de 2 entradas tem 4 entradas porque a barra era demasiado pequena para alojar todos os fios necessários.

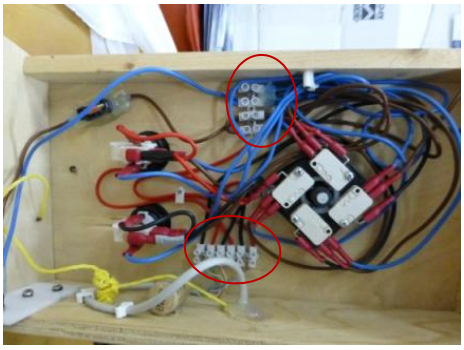


Figura 42. Localização das barras de junção.

2- Conectar os vários fios às barras de junção da seguinte forma:

> **Na barra de junção grande de 2 entradas,** juntar todos os fios azuis (6 fios, correspondentes ao polo negativo) provenientes do *joystick* numa entrada e do outro lado dessa entrada juntar todos os fios azuis provenientes da fonte de alimentação e dos botões e ainda os fios provenientes das lâmpadas (**Figura 43**). Na outra entrada dessa barra de junção, juntar todos os fios castanhos provenientes do *joystick* (6 fios, correspondentes ao polo positivo) e do outro lado dessa entrada juntar todos os fios castanhos provenientes da fonte de alimentação e dos botões e ainda os fios provenientes das lâmpadas No outro lado conectar todos os outros fios, provenientes dos botões, das lâmpadas e da fonte de alimentação.

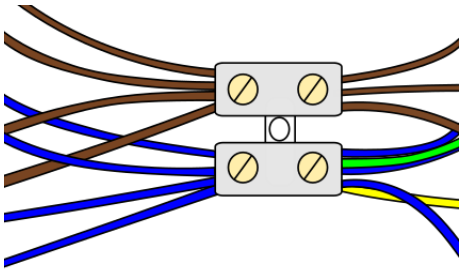


Figura 43. Barra de junção de 2 entradas e fios por ela ligados.

> **Na barra de junção de <u>6 entradas</u>** conectar num dos lados da barra todos os fios provenientes dos terminais comutadores (COM), tando do *joystick* como dos botões. Do outro lado da barra, conectar todos os fios do umbilical correspondente a cada motor (**Figura 44**).

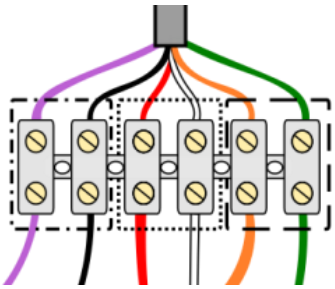


Figura 44. Barra de junção de 6 entradas, onde se conectam todos os fios provenientes do *joystick* e dos botões num dos lados e do umbilical no outro lado.

5.3.3.11. Preparação e colocação da barra de junção no <u>chassis</u>

1- Colar uma barra de junção de 6 entradas ao chassi (**Figura 45**).
2- Conectar os fios dos 3 motores à barra de junção do chassi, respeitando a distribuição das cores da barra de junção da consola.
3- Conectar os fios do umbilical no outro lado desta barra de junção do chassi.
4- Fixar os fios ao chassi com abraçadeiras para não ficarem soltos.

Figura 45. Barra de junção colada no chassi.

5.3.3.12. Preparação e ligação do umbilical

1- Descarnar as extremidades de 6 fios do fio de rede e antes de os conectar à barra de junção do chassi, fixá-los com um nó na estrutura do chassi de modo a deixar fio suficiente para chegar à barra de junção. Isto serve para evitar forçar as conexões na barra de junção quando o veículo se movimentar na água (**Figura 46**).
2- Conectar uma das extremidades dos 6 fios à barra de junção de 6 entradas previamente colada no chassi, de acordo com as cores dos fios dos motores correspondentes, e a outra extremidade desses fios deve ser conectada à barra de junção colada na consola, seguindo o mesmo código de cores.

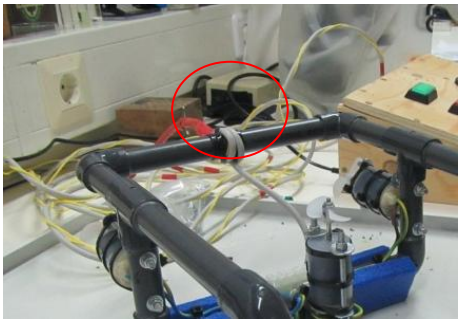


Figura 46. Fixação do umbilical ao chassi.

5.3.4. Fase de testes

5.3.4.1. Testes de funcionamento do motor e isolamento da barra de junção no chassi

1- Testar o movimento dos motores para garantir que funcionam corretamente e de acordo com as instruções dadas no *joystick* e botões.
O *joystick* permite controlar os motores de bombordo (esquerdo) e estibordo (direito), fazendo o veículo movimentar-se para a esquerda e para a direita. O motor central controla o movimento vertical, fazendo o veículo movimentar-se para cima ou para baixo. Caso o funcionamento não esteja correto, deve ser retificado, trocando a polaridade dos fios.

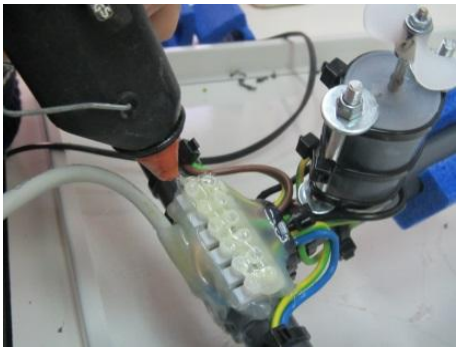


Figura 47. Isolamento da barra de junção colada no chassi.

2- Depois de confirmado o correto funcionamento dos motores, cobrir a barra de junção com cola quente para a isolar bem da água (**Figura 47**).

5.3.4.2. Teste de flutuabilidade

É importante salientar que os testes de flutuabilidade só devem ser feitos quando todas as ligações elétricas estiverem bem isoladas e todas os isolamentos (cera, silicone) estiverem bem secos.

Para um correto funcionamento do ROV na água é necessário que este apresente flutuabilidade neutra, ou seja, que não tenha tendência a afundar ou a flutuar demasiado. Para que isto aconteça, a força de impulsão que atua sobre o veículo deve ser igual ao seu peso, atingindo-se um equilíbrio que corresponde ao ponto de estabilidade. Também é importante garantir que a flutuabilidade do veículo seja semelhante na parte dianteira e traseira, permitindo-lhe assim manter uma posição horizontal na água (**Figura 48**). Isso pode ser feito acrescentando um material de baixa densidade ao ROV, como polistireno ou cortiça.

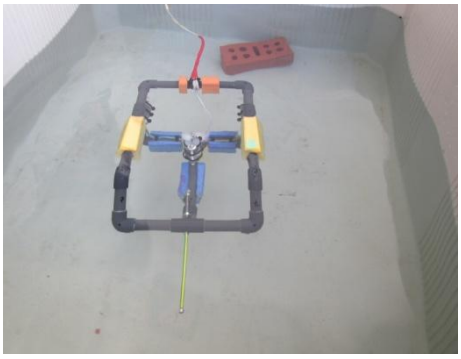


Figura 48. Flutuabilidade semelhante na parte traseira e dianteira do ROV.

1- Prender porcas com abraçadeiras na parte dianteira do veículo, ou usar outro material semelhante (ex. chumbos de pesca), para contrabalançar o peso dos motores (**Figura 49**).

2- Verificar se veículo está equilibrado horizontalmente. Para isso, segurá-lo pelos dedos indicadores colocados a meio da estrutura. Se permanecer mais ou menos horizontal é porque está equilibrado. Se não estiver, colocar mais peso na zona necessária.

3- Acrescentar ao veículo pontos de flutuação fixando, com fita adesiva ou abraçadeiras, poliestireno, cortiça ou outro material de baixa densidade (**Figura 50**). Embora a localização e quantidade do material flutuante necessária varie de veículo para veículo, normalmente terá de se colocar o material flutuante na parte traseira para contrabalançar a densidade dos motores aí localizados.

4- Colocar o ROV na água, preferencialmente em água doce de um tanque ou piscina, e verificar a sua flutuabilidade. Deve permanecer com flutuabilidade neutra. Para isso, deve acrescentar-se ou retirar-se o material flutuante até atingir uma posição aproximadamente horizontal e ligeiramente abaixo da superfície da água, conforme explicado na parte introdutória deste manual.

5- Amarrar pedaços do material flutuante, ao longo de troços igualmente distanciados, ao umbilical para garantir a sua flutuabilidade.

Figura 49. Colocação de chumbo na zona traseira do ROV para contrabalançar o peso frontal dos motores.

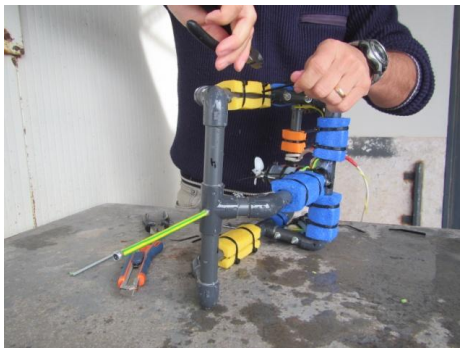
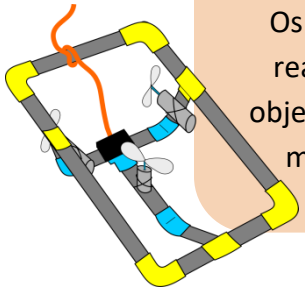


Figura 50. Fixação de material flutuante, neste caso, esponja, no chassi.



Parabéns! O ROV está terminado.

Os passos seguintes são a inclusão de acessórios para poder realizar missões (ex. colocação de um arpão para recuperar objetos perdidos, adaptação de câmara fotográfica, etc.). Essas melhorias técnicas ficarão ao gosto e critério de cada um.

6. BIBLIOGRAFIA

Livros

Bell, Chris. 1997. *Handbook for ROV Pilot Technicians*. 2d ed. Ledbury Herefordshire England: Oilfield Publ. Ltd.

Vega, D.; Rodríguez, C.; Villanueva, M.; Cufí, X. 2013. *Taller de robótica submarina - Manual de construcción de un ROV.* PLOCAN.

Documentos eletrónicos

ROV Program – Team Manual Underwater Robotics for High School Students, disponível em http://www.marinetech.org/files/marine/files/Curriculum/Other%20Curriculum%20Resources/MIROV2MANUAL.pdf, consultado em 26-01-2017.

Páginas web

Departamento de Oceanografia e Pescas - http://www.horta.uac.pt/intradop/, consultado em 26-01-2017

EDUROVs - http://edurovs.eu/, consultado em 26-01-2017

Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma continental - http://www.emepc.pt/, consultado em 26-01-2017.

Instituto Hidrográfico - http://www.hidrografico.pt/rov-remotely-operated-vehicle.php, consultado em 26-01-2017.

Lerus Training (ROV: classification, tasks and tolls) - http://www.lerus-training.com/blog/offshore-operations/rov-classifications-%E2%97%8F-tasks-%E2%97%8F-tools/, consultado em 26-01-2017.

Marine Technology Society - http://www.rov.org/rov_design_ballast.cfm, consultado em 26-01-2017.

Observatório Oceânico da Madeira
Edifício Madeira Tecnopolo, Piso 0
Caminho da Penteada
9020-105 Funchal, Portugal
(+351) 291 721 216

http://oom.arditi.pt/