



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA

ENG633 - SISTEMAS MECATRÔNICOS

---

**Relatório I  
Projeto Conceitual**

---

*Professor:*  
Leizer Schnitman

*Grupo:*  
Jailson dos Santos Junior  
Maxwell Francisco da Silva  
Rafael Santana Queiroz  
Rosinery Rosária de Medeiros  
Yuri de Matos Alves de Oliveira

Salvador

19 de Agosto de 2021

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Análise de Requisitos</b>	<b>6</b>
2.1	Matriz QFD . . . . .	6
2.2	Matriz Morfológica . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Projeto Conceitual</b>	<b>7</b>
3.1	Design . . . . .	7
3.2	Sensores Embarcados . . . . .	11
3.3	Funcionalidades . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Simulação</b>	<b>15</b>
	<b>Referências</b>	<b>16</b>

## **Lista de Figuras**

3.1	ROVs que inspiraram o design do BROV . . . . .	7
3.2	Estrutura conceitual do BROV . . . . .	8
3.3	Propulsor do BROV . . . . .	9
3.4	Posicionamento dos thrusters . . . . .	9
3.5	Prototipação do propulsor . . . . .	10
3.6	Aquário para testes de propulsão e comunicação . . . . .	10
3.7	Projeto conceitual da <i>housing</i> da câmera e seu controlador . . . . .	11
3.8	Lanterna que será usada no BROV . . . . .	12
3.9	Vista isométrica do BROV conceitual . . . . .	12
3.10	Vista frontal do BROV conceitual . . . . .	13
3.11	Vista lateral do BROV conceitual . . . . .	13
3.12	Vista superior do BROV conceitual . . . . .	14

## **Lista de Tabelas**

## 1 Introdução

A comunicação subaquática sem fio tem sido um tema de vasta pesquisa nos últimos anos por conta do interesse de exploração do ambiente marinho. Enquanto no ar a maioria dos sistemas de comunicação utiliza ondas de rádio ou espectro de espalhamento e posicionamento global [1], na água os sensores acústicos são os mais utilizados. Contudo, outras tecnologias de comunicação sem fio também são aplicáveis nesse ambiente, como ondas de radiofrequência (RF) e ondas óticas [2].

Os sensores acústicos possuem a vantagem de permitir uma comunicação de longo alcance, da ordem de 20 km. Em contrapartida, possuem baixa taxa de transmissão (da ordem de kbps), alta latência (da ordem de segundos), são relativamente pesados e caros, além de serem perigosos para certas espécies marinhas [2].

A comunicação subaquática por ondas RF permite uma transição suave entre a interface água/ar, sendo útil para integração com sistemas RF terrestres. Além disso, é menos suscetível às interferências decorrentes de turbulência e turbidez marinha, se comparada com a comunicação acústica e ótica. A principal limitação da aplicação de RF na água é o baixo alcance e o alto custo decorrente da necessidade da instalação de antenas [2].

A comunicação ótica sem fio subaquática (UOWC, do inglês *Underwater Optical Wireless Communication*) possui, dentre os métodos supracitados, a maior taxa de transmissão, a menor latência e o menor custo de implementação. Por outro lado, o sinal ótico é alterado por conta de absorção e dispersão, demanda alinhamento preciso dos transceptores e possui alcance moderado (da ordem de dezenas de metros) [2].

Diante desse cenário, o objetivo geral desse trabalho é implementar, em ambiente de simulação, algoritmos de comunicação embarcados em um veículo submarino remotamente operado (ROV, do inglês *Remotely Operated Underwater Vehicle*), que deverá ser projetado para realizar uma operação de resgate de um objeto qualquer.

Os objetivos específicos do trabalho são:

1. Projetar um ROV para atuação em uma missão de resgate, com requisitos de funcionamento pré-estabelecidos.
2. Desenvolver e implementar, em ambiente simulado, algoritmos de comunicação subaquática.

3. Simular comportamento dinâmico, localização, navegação e comunicação do ROV.

O escopo do trabalho está restrito à entrega de três relatórios, desenhos 3D e de fabricação e algoritmos desenvolvidos. A prototipação física, assim como testes experimentais do ROV em piscina ou mar estão fora do escopo desse trabalho.

A divisão dos relatórios será feita da seguinte maneira:

1. Relatório I - Projeto Conceitual
2. Relatório II - Projeto Detalhado
3. Relatório III - Resultados de Simulação

No Relatório I, que é este documento, será apresentada inicialmente uma análise de requisitos do sistema, matriz QFD (do inglês *Quality Function Deployment*) para obtenção dos requisitos de projeto e matriz morfológica para seleção preliminar dos tipos de componentes do protótipo a ser simulado. Posteriormente será apresentado o projeto conceitual, que conterá: o *design* proposto para o protótipo, os sensores embarcados e as principais funcionalidades que ele irá possuir. Por fim, será discutida uma estratégia para simulação do protótipo.

No Relatório II será apresentado o projeto detalhado, com especificação dos componentes e sistema, juntamente com um cronograma para execução das tarefas.

No Relatório III serão mostrados os resultados da simulação do protótipo atuando na missão de resgate.

## **2 Análise de Requisitos**

### **2.1 Matriz QFD**

### **2.2 Matriz Morfológica**

## 3 Projeto Conceitual

### 3.1 Design

O design do protótipo foi concebido a partir das definições oriundas da matriz morfológica e também de inspirações de ROVs comerciais, como o *Seafox* e o *BlueROV2*, mostrados na Figura 3.1.

Figura 3.1: ROVs que inspiraram o design do BROV: *Seafox* (à esquerda) e *BlueROV2* (à direita)



Fonte: [3] e [4]

Para escolha do material da estrutura do BROV foram levados em consideração o baixo custo e a versatilidade para futuras integrações de novos sensores. Dessa forma, optou-se por utilizar estrutura tubular, como a do *Seafox*. O design conceitual da estrutura está mostrado na Figura 3.2.

Para a fixação da estrutura tubular entre si foram utilizados conectores do tipo “tê soldável” e “joelho 90°”, itens comerciais retirados do catálogo da Tigre® [5]. Nos casos em que não foi possível a união tubular através desses conectores, optou-se por utilizar peças impressas 3D em ABS, modeladas exclusivamente para esse fim, evitando-se uso de abraçadeiras metálicas e do tipo “enforca-gato”, que viriam a prejudicar a estética do ROV. Julgou-se necessário também a utilização de uma base (impressa 3D) para apoio e fixação dos mais diversos tipos de componentes, como *housings*, fios e acessórios. Parafusos e porcas de aço inoxidável austenítico 304 foram selecionados como elementos padrão de fixação.

No design do ROV também foi levado em consideração a versatilidade no controle da flutuabilidade. Os dois maiores tubos da parte superior podem acomodar um

Figura 3.2: Estrutura conceitual do BROV

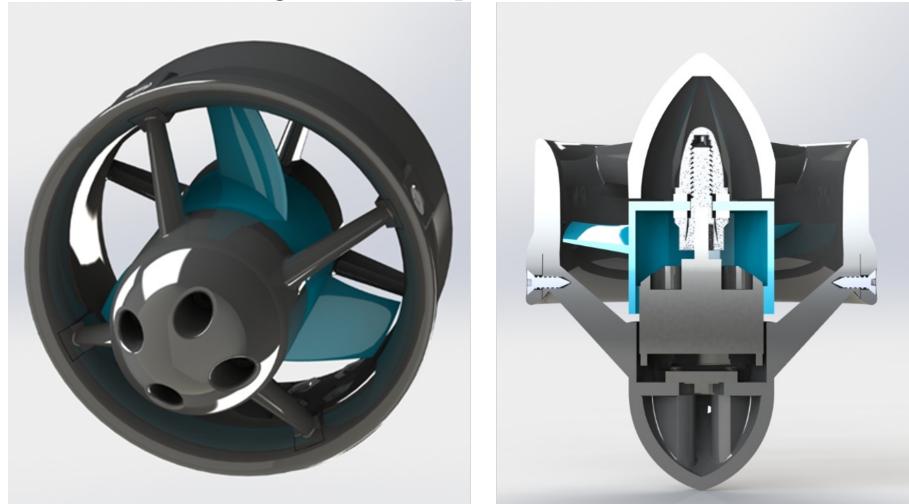


Fonte: Autores

grande volume de espuma expansível, que possui baixa densidade, da ordem de  $0,1 \text{ g/cm}^3$ . Caso os tubos não resistam aos esforços de pressão na profundidade especificada pelo projeto, a espuma poderá ser aplicada para evitar o colapso do tubo, ao mesmo tempo que favorecerá o empuxo se comparado com o preenchimento com água. De modo análogo, os tubos inferiores foram pensados para um eventual acréscimo discreto de massa – com bolas de gude, por exemplo – para ajuste da altura do centro de gravidade do protótipo. Os tubos menores, que compõem a parte central da estrutura, foram mantidos abertos para circulação de água.

O sistema de propulsão foi fortemente inspirado no *BlueROV2*, que é um ROV *open source* da empresa *BlueRobotics*. Algumas alterações em nível de escala, elementos de fixação e componentes do duto canalizador foram feitas em relação aos presentes no *BlueROV2*, de modo a tornar a montagem compatível com o motor *brushless A2212*, que será utilizado no projeto. A Figura 3.3 mostra o propulsor que será utilizado no BROV.

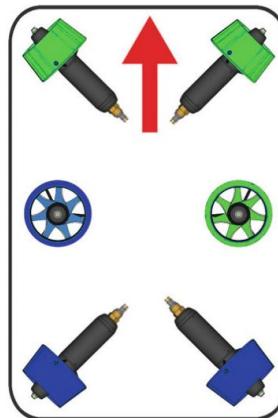
Figura 3.3: Propulsor do BROV



Fonte: Autores

Os motivos pela escolha desse modelo de motor foram: não necessidade de selagem, facilidade de montagem, alto torque e baixo *lead time*. A alocação dos *thrusters* – mostrada na Figura 3.4 – foi pensada de modo a obter o controle dos 3 graus de liberdade translacionais – *surge*, *sway* e *heave* – e de 2 rotacionais – *roll* e *yaw* [6].

Figura 3.4: Posicionamento dos thrusters

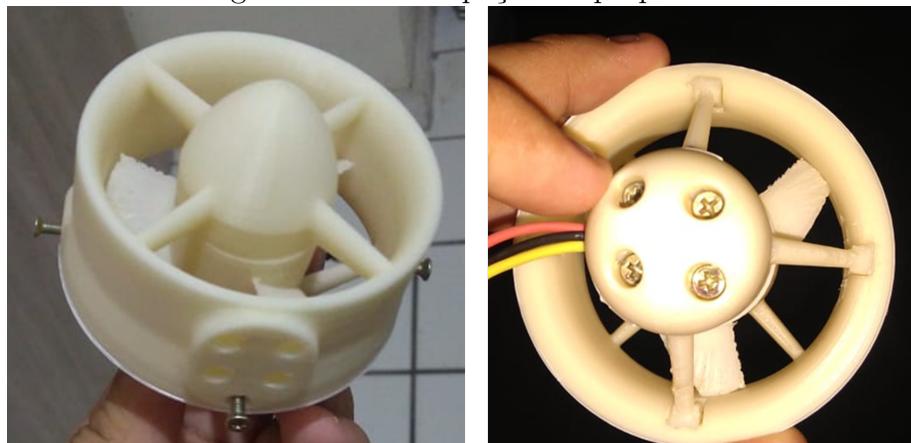


Fonte: [6]

No momento em que foi escrito esse relatório o propulsor se encontrava em fase de testes, tendo a hélice e demais acessórios sido fabricados em ABS, em uma

impressora 3D, conforme indicado pela Figura 3.5. A próxima etapa a ser realizada para modelagem computacional do sistema de propulsão consiste no levantamento da curva Corrente x Torque do motor através de testes em um aquário adquirido pela equipe, conforme indicado pela Figura 3.6, de modo que seja possível estimar o comportamento dinâmico do ROV quando submerso.

Figura 3.5: Prototipação do propulsor



Fonte: Autores

Figura 3.6: Aquário para testes de propulsão e comunicação



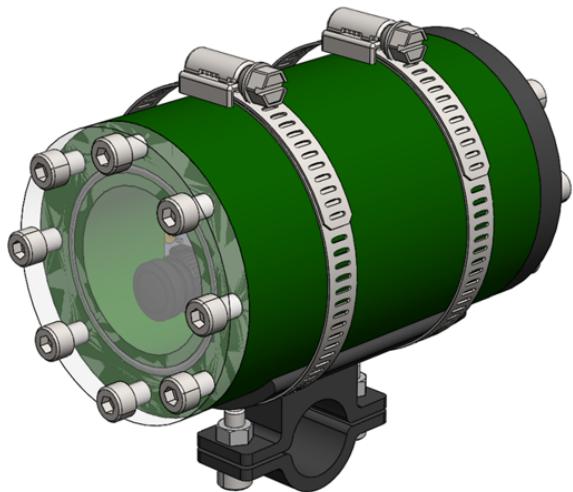
Fonte: Autores

*Housings* tiveram que ser projetadas para uma vedação confiável da câmera

monocular juntamente com seu controlador, assim como dos componentes eletrônicos de controle – Arduíno, IMU e bateria.

O corpo da *housing* da câmera foi concebido para ser impresso 3D, com um visor de policarbonato na parte frontal, comprimido com parafusos e vedado com *o-ring*. A fixação na estrutura se dará por meio do uso de abraçadeiras metálicas, de modo que seja permitida a sua rápida montagem e desmontagem, sem que haja nenhum tipo de perfuração. A Figura 3.7 mostra o projeto conceitual dessa *housing*. A outra *housing*, que acomodará os demais componentes eletrônicos e bateria, ainda está em desenvolvimento.

Figura 3.7: Projeto conceitual da *housing* da câmera e seu controlador



Fonte: Autores

Para prover iluminação na profundidade de 10 m, a equipe optou por utilizar uma solução de mercado já pronta: uma lanterna de pesca à prova d'água de baixo custo com fonte de alimentação própria, mostrada na Figura 3.8.

Além dos componentes mencionados acima, também serão acomodados no BROV sensores de ultrassom para mapeamento e comunicação. Todos esses itens estão representados nas vistas de montagem das Figuras 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12.

### 3.2 Sensores Embarcados

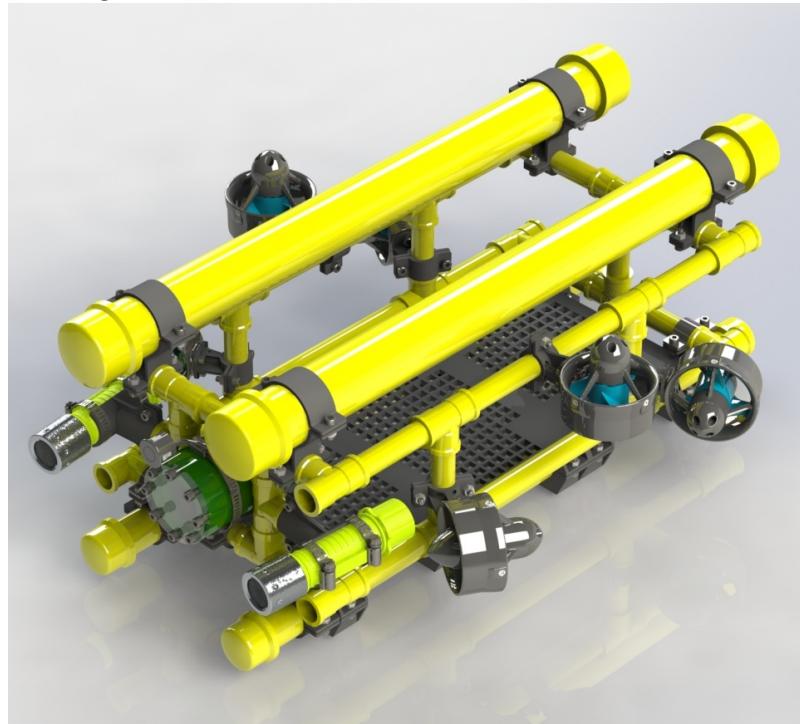
### 3.3 Funcionalidades

Figura 3.8: Lanterna que será usada no BROV



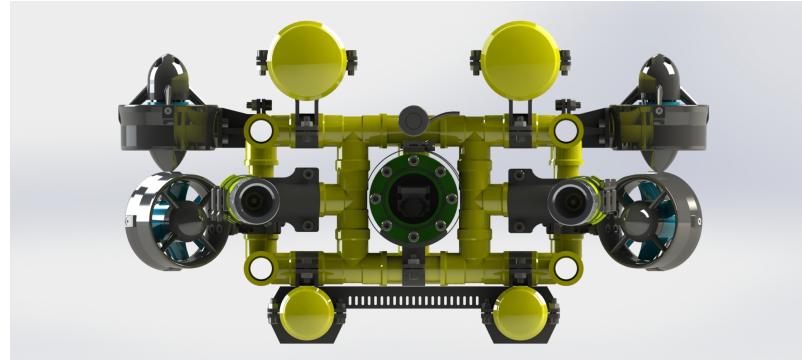
Fonte: Banggod

Figura 3.9: Vista isométrica do BROV conceitual



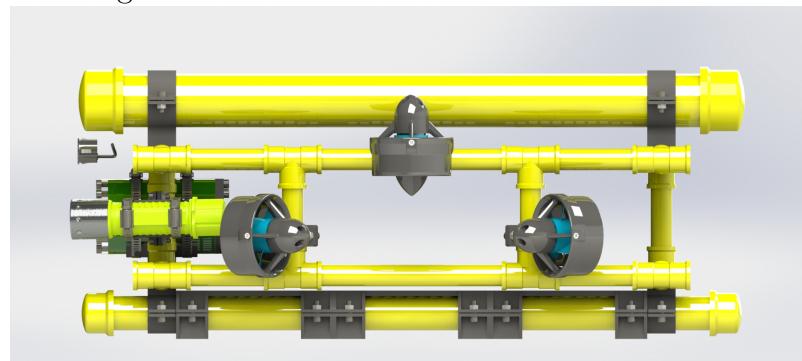
Fonte: Autores

Figura 3.10: Vista frontal do BROV conceitual



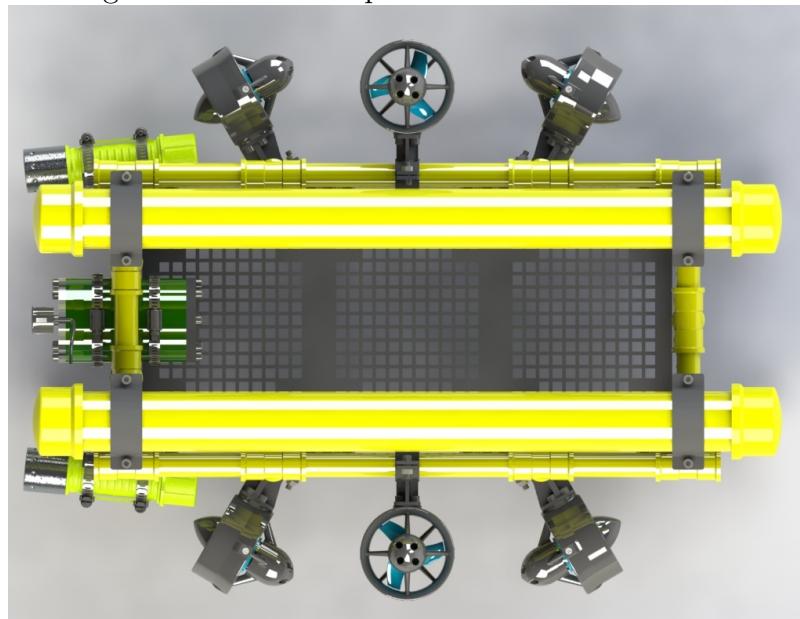
Fonte: Autores

Figura 3.11: Vista lateral do BROV conceitual



Fonte: Autores

Figura 3.12: Vista superior do BROV conceitual



Fonte: Autores

## 4 Simulação

## Referências

- [1] Liam Paull, Sajad Saeedi, Mae Seto, and Howard Li. AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1):131–149, 2014.
- [2] Obaid Ur-Rehman and Natasa Zivic. Wireless communications. *Signals and Communication Technology*, 19(1):7–21, 2018.
- [3] Carlos R Rocha, Rogério M Branco, Lais A Cruz, Marcos V Scholl, Matheus M Cezar, and Felipe D Bicca. Design Aspects Of An Open Platform For Underwater Robotics Experimental Research. (June 2016), 2014.
- [4] Blue Robotics. BlueROV2. <https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>. [Online; acessado em 16 de Agosto de 2021].
- [5] Tigre. Ficha Técnica - Linha Roscável, 2009.
- [6] Gianluca Antonelli. *Underwater Robots Fourth Edition*. Springer International Publishing AG, 4th edition, 2018.