

DESENVOLVIMENTO E TESTE DE CONCEITO DE PROTÓTIPO DE FLUTUADOR VARIÁVEL PARA ROV

Fernando Guimarães Vianna¹
Wanderley Ferreira de Amorim Junior²
Antônio Roberto Lins de Macêdo³

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um conceito de protótipo de flutuador variável, para veículos operados remotamente (ROV), empregando canos de polivinil de cloreto, visando simular suas condições de flutuabilidade e estabilidade. Para o ensaio foram utilizados um compressor, necessário para expulsar a água dos compartimentos e promover uma flutuabilidade positiva, e garrafas PET para o armazenamento da água que irá causar uma flutuabilidade neutra ou negativa ao protótipo. No teste, realizado em um tanque, foram simulados diferentes casos de flutuabilidade e condições de equilíbrio de modo a validar sua eficácia. Os resultados mostraram que, conhecendo os princípios básicos de flutuabilidade e estabilidade de um corpo submerso, é possível prever o comportamento do sistema de flutuação em diversas situações.

Palavras-chave: Estabilidade, Flutuador, Protótipo, ROV.

INTRODUÇÃO

Os ROVs (*Remotely Operated Vehicles*) são equipamentos projetados para operar em ambientes subaquáticos realizando tarefas de inspeção ou reparos, sendo bastante utilizados na indústria de petróleo e gás. Em razão da alta profundidade que podem alcançar, eles estão cada vez mais substituindo as atividades que antes eram desempenhadas por seres humanos.

Esses veículos podem ser divididos em quatro categorias, sendo elas de tamanho pequeno (até 100 kg), tamanho médio (100-1000 kg), classe de trabalho e uso especial. Alguns critérios que condicionam o seu tamanho é o volume do equipamento a ser transportado, volume dos equipamentos e sensores e o volume dos flutuadores (CHRIST; WERNLI, 2014).

Como os ROVs estão constantemente transportando cargas, é necessário que o projetista crie uma plataforma segura para manobrar. Dessa forma, é fundamental o controle preciso da

¹ Graduado pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Fortaleza – Unifor, fernandoguvianna@gmail.com;

² Professor Orientador, DSc, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – UFCG, engenhariabrasileira1@gmail.com;

³ Professor Orientador, Me, Universidade de Fortaleza – Unifor; boblmacedo@gmail.com;

estabilidade e fluabilidade do veículo. Tais fatores podem ser ajustados conforme o peso do conjunto de flutuadores presente no equipamento.

Esses robôs comumente adotam dois tipos de controle da fluabilidade: 1) Sistema composto por válvulas, tanques de lastro e ar comprimido; 2) Sistema de emersão e submersão por acionamento de propulsores (MAGALHÃES, 2007).

A função desses flutuadores é balancear o efeito do peso da estrutura para que possa fornecer a ela um estado de flutuação neutro, positivo ou negativo, ou seja, garantem o equilíbrio hidrostático exercendo o procedimento de emersão e submersão do robô (NOGUEIRA NETO, 2011). Esse controle segue o princípio desenvolvido por Arquimedes, onde ele afirma que um corpo imerso em um fluido sofre a ação de uma força ascendente que é igual ao peso do fluido deslocado.

É importante ressaltar que a profundidade alcançada pelo submersível irá influenciar diretamente no material que constitui o sistema de flutuação. Esses flutuadores normalmente são formados por materiais de baixa densidade. Sendo assim, pode-se mencionar diferentes tipos de materiais utilizados, como espumas de polímero de poliuretano, poliestireno ou polivinil de cloreto (PVC), compostos de matriz de polímero reforçada com esferas vazias, espumas sintáticas e até esferas de cerâmica (BOUCHONNEAU et al., 2010).

Esse trabalho busca apresentar um modelo de flutuador variável para veículos operados remotamente, fabricado com tubos de polivinil de cloreto, capaz de fornecer um controle ideal para as condições de fluabilidade e estabilidade do equipamento. Diante do modelo proposto, o mesmo irá possibilitar a fabricação de ROVs compactos que suportem maiores cargas além de fornecer um baixo custo para a sua produção.

A eficácia do módulo de flutuação é essencial para garantir a recuperação do veículo em casos de falhas do sistema. Para validá-la serão realizados testes com diferentes cenários de utilização do flutuador.

O conceito de protótipo é dividido em vários compartimentos internos que funcionam como tanques de lastro. Estes serão preenchidos e esvaziados durante os testes de forma a influenciar as condições de equilíbrio e fluabilidade. O uso do sistema de lastro será fundamental para obter a estabilidade de rolamento do veículo não tripulado.

METODOLOGIA

O trabalho realizado possui característica exploratória, onde foi necessário o desenvolvimento de um conceito de protótipo de um flutuador variável para o estudo de caso.

A fabricação foi realizada na empresa ARMTEC Tecnologia em Robótica, no setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D) localizado na Universidade de Fortaleza - Unifor.

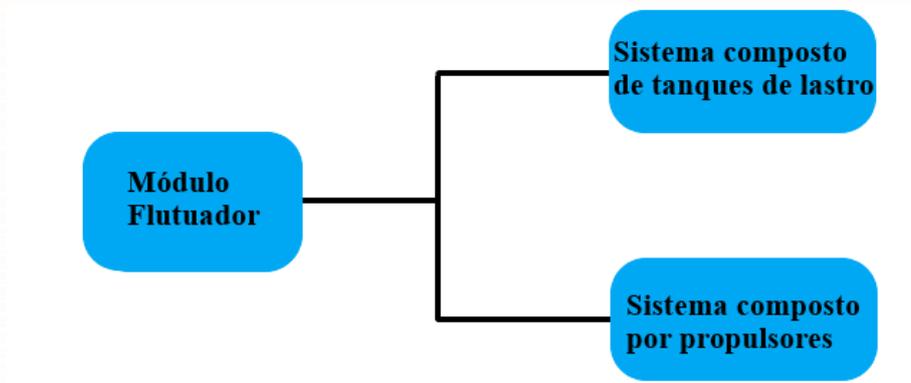
A metodologia para a realização do estudo se deu da seguinte maneira:

- 1) Projeto informacional: realização de um levantamento bibliográfico de modo a obter as informações necessárias para a realização do projeto;
- 2) Projeto conceitual: realização de croquis para melhor visualização das ideias;
- 3) Projeto preliminar: especificação das medidas das peças e do material que será utilizado no protótipo;
- 4) Projeto detalhado: com o uso do software CATIA V5 versão para estudante foram realizados os desenhos de todas as peças que irão compor a estrutura do protótipo;
- 5) Construção e teste: foi realizada a fabricação do protótipo, sendo utilizado para isso canos de PVC de diferentes diâmetros, CAPs de PVC de 150 mm de diâmetro e conexões rápidas QS de 6 mm. A união dos componentes foi possível com o uso de cola para PVC, durepoxi e fita silver tape. O teste do flutuador foi realizado em um tanque da Unifor com o objetivo de verificar se ele atende às especificações do projeto;
- 6) Análise e discussão dos resultados: os resultados foram analisados com o objetivo de validar a eficácia do protótipo do flutuador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise em diferentes trabalhos já realizados no meio acadêmico e profissional foi verificado que o módulo flutuador presente em veículos operados remotamente normalmente seguem dois tipos, como mostra a figura a seguir.

Figura 1: Tipos de flutuadores



Fonte: O autor (2019).

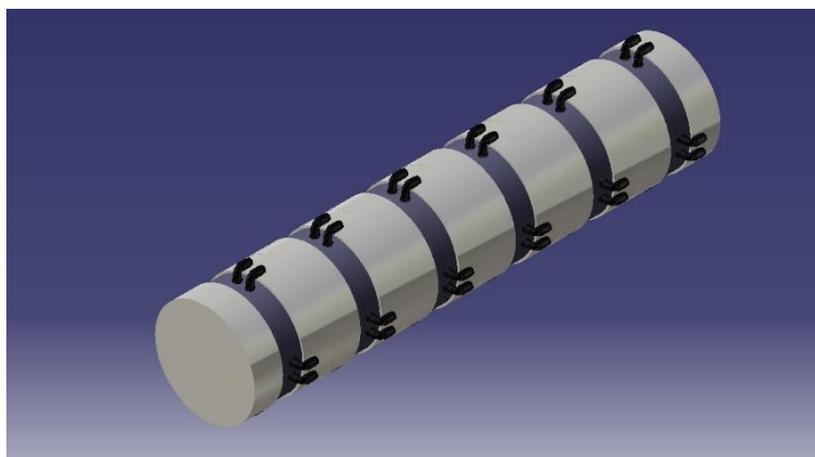
O sistema escolhido para a realização do estudo é o composto por tanques de lastro, que fazem o uso de válvulas e compressor.

Com isso, foi analisado a possibilidade de fabricação do protótipo com as ferramentas disponíveis e da realização do teste de flutuabilidade.

Concepção

Essa etapa do projeto levou em consideração os recursos disponíveis e o custo para fabricação. A concepção do protótipo pode ser vista na Figura 2.

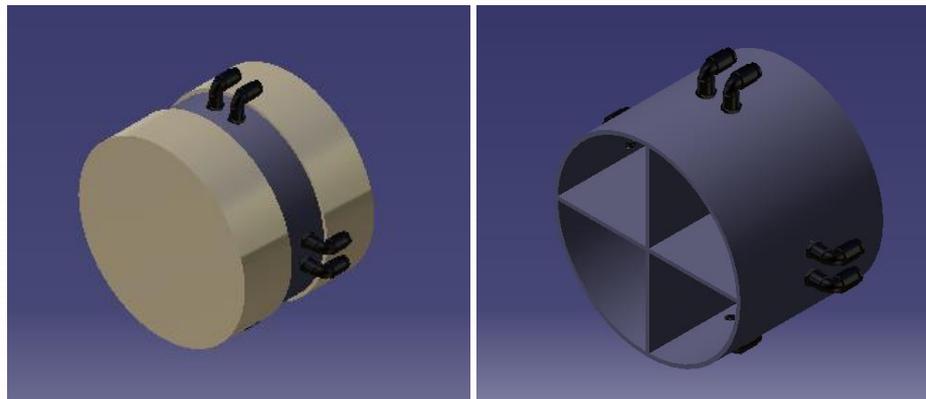
Figura 2: Perspectiva isométrica



Fonte: O autor (2018).

O protótipo é dividido em seis cápsulas isoladas de modo a facilitar a construção final da estrutura e a criação dos compartimentos. Cada uma possui quatro compartimentos em seu interior, como mostra a Figura 3. Os compartimentos irão armazenar a água responsável por proporcionar ao veículo uma flutuação negativa.

Figura 3: Cápsula



(a) Cápsula

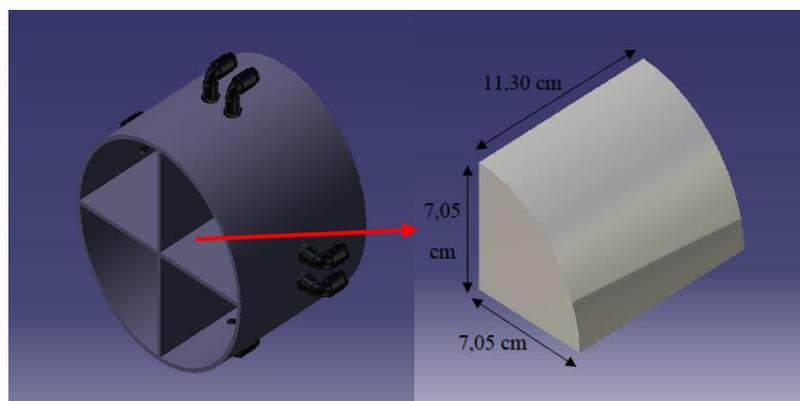
(b) Compartimentos da cápsula

Fonte: O autor (2018).

Cálculos

Para compreender a capacidade de variação do centro de gravidade bem como dos momentos que são gerados no flutuador, a capacidade de armazenamento da massa de água e o centro de gravidade de cada compartimento foram calculados com base em seu dimensionamento interno.

Figura 4: Dimensões internas dos compartimentos



Fonte: O autor (2018).

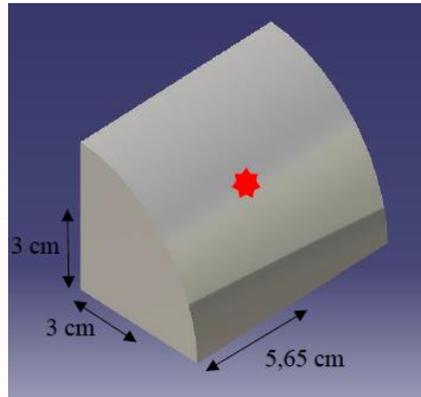
Com os dados do volume do compartimento e da densidade da água encontra-se sua massa. A seguir, são mostradas as equações para chegar aos resultados do estudo.

$$V = A_b \cdot L = \frac{\pi r^2}{4} L$$

$$m = d \cdot V$$

A massa de água dos compartimentos obtida foi de 0,437 kg. Em seguida, foi calculado o centro de gravidade dos compartimentos, considerando sua posição em relação aos eixos X, Y e Z, resultando na localização mostrada pela Figura 5.

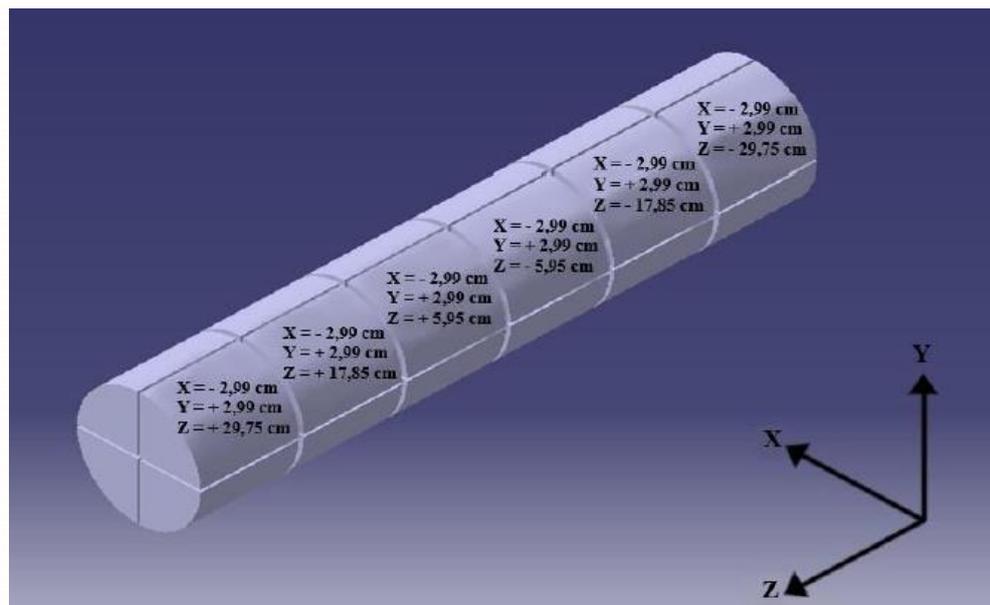
Figura 5: Localização do centro de gravidade dos compartimentos



Fonte: O autor (2018).

A etapa seguinte foi distribuir a localização do centro de gravidade de cada compartimento ao longo da estrutura do protótipo.

Figura 6: Distribuição do centro de gravidade no protótipo



Fonte: O autor (2018).

Como forma de facilitar os cálculos do estudo, o centro de gravidade do conceito de protótipo foi dimensionado levando em consideração a massa do fluido presente em cada compartimento da embarcação. Sendo assim, o resultados dos testes foram obtidos a partir da equação proposta por Navy (2017), onde D representa a distância em relação ao eixo X, Y ou Z.

$$\bar{D} = \frac{D_1\delta A_1 + D_2\delta A_2 + \dots + D_n\delta A_n}{\delta A_1 + \delta A_2 + \dots + \delta A_n} = \frac{D_1\delta m_1 + D_2\delta m_2 + \dots + D_n\delta m_n}{\delta m_1 + \delta m_2 + \dots + \delta m_n}$$

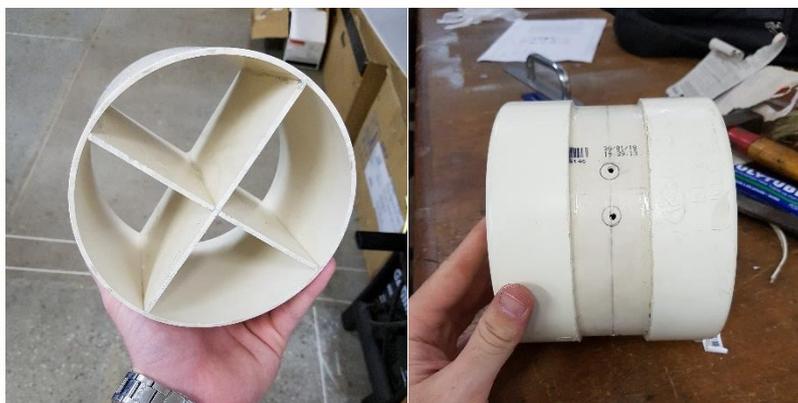
Os momentos gerados em cada teste são resultado do produto entre a magnitude da carga aplicada no centro de gravidade de cada compartimento e a distância de aplicação dessa carga em relação à origem de determinado eixo.

$$M = F \cdot D$$

Fabricação

A construção do objeto de estudo foi baseado em métodos simples. O primeiro passo para a fabricação da estrutura foi o desenvolvimento isolado de seis cápsulas, criando dentro de cada uma compartimentos para o armazenamento individual da água (Figura 7(a)). Após o isolamento das cápsulas, foram realizados furos para as conexões rápidas QS (Figura 7(b)).

Figura 7: Fabricação das cápsulas



(a) Compartimentos internos

(b) Furos para conexões rápidas

Fonte: O autor (2018)

Em seguida, todas elas foram alinhadas e unidas formando a estrutura do flutuador, ilustrado na Figura 8(a). A forma final do protótipo é mostrada na Figura 8(b).

Figura 8: Protótipo de flutuador



(a) Forma preliminar

(b) Forma final

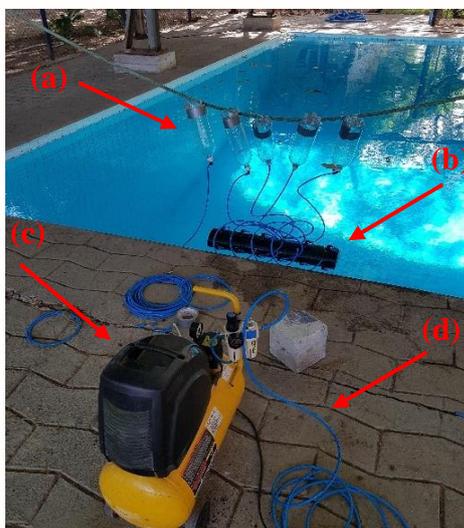
Fonte: O autor (2018).

Testes

O sistema para a realização dos testes é apresentado na Figura 9. Foram utilizados garrafas PET (Figura 9(a)), para armazenar a água que será utilizada para preencher os compartimentos que causarão um estado de flutuabilidade negativa no protótipo (Figura 9(b)), e um compressor (Figura 9(c)), para injetar ar comprimido, por meio das mangueiras de poliuretano (Figura 9(d)), no momento em que for necessário expulsar a água dos compartimentos e, assim, gerar um estado de flutuabilidade neutro ou positivo e de estabilidade.

O compressor utilizado é da marca Twister, com uma potência de 1,12 kW e descolamento teórico de ar de 147 l/min.

Figura 9: Sistema utilizado para a realização dos testes



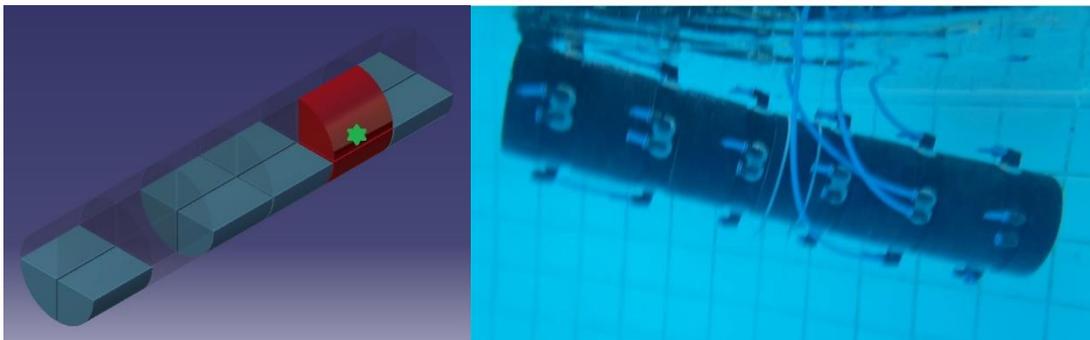
Fonte: O autor (2018).

Nas ilustrações dos testes os compartimentos de cor azul representam tanques de compensação que irão manter o protótipo em condição inicial de flutuabilidade neutra. Os compartimentos de cor vermelha serão os que irão causar uma condição de flutuabilidade negativa e de equilíbrio instável. Já os compartimentos de cor verde serão os que irão devolver a condição de equilíbrio estável. No último teste, foi simulada a expulsão da água nos tanques para proporcionar ao protótipo uma flutuabilidade positiva.

Teste 1

Nessa primeira situação foi criada uma flutuabilidade negativa, onde o centro de massa tende a se deslocar para a direita $(-2,99; 0; -17,85)$ cm, criando um certo desnível do flutuador e um momento que o faz girar. Os momentos gerados nesse caso são devidos os movimentos de rotação tanto no eixo X como no eixo Y, produzindo o balanço, $M_x = -0,256 N/m$, e o cabeceio, $M_y = -1,530 N/m$.

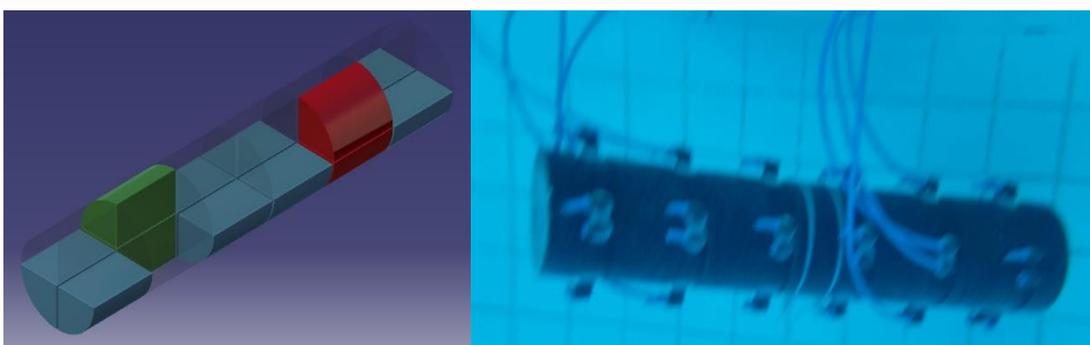
Figura 10: Avaria 1



Fonte: O autor (2018).

A Figura 11 mostra o resultado da compensação, criando um estado de flutuabilidade neutro e de equilíbrio estável. Para que isso ocorresse as saídas de ar das mangueiras foram liberadas para que a água pudesse sair das garrafas, ocupando os compartimentos que farão a compensação, anulando assim os momentos gerados anteriormente.

Figura 11: Compensação 1

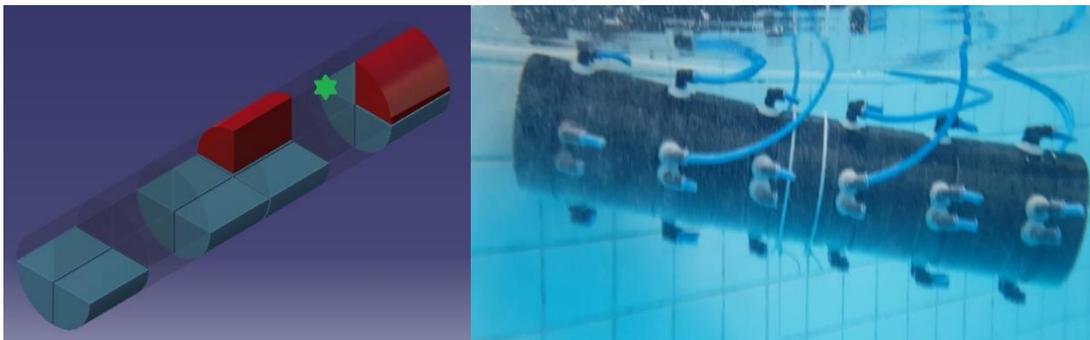


Fonte: O autor (2018).

Teste 2

O teste 2 mostra uma variação na condição de flutuabilidade negativa, onde a água ocupa compartimentos que não estão interligados. O centro de massa se desloca para a posição (0; 2,99; -17,85) cm. Nesse caso, há mais de uma forma de recuperar o estado de flutuabilidade neutro, sendo nesse trabalho apresentado somente um método. O momento gerado na embarcação para esse caso é devido somente ao movimento de rotação no eixo Y, produzindo o cabeceio, $M_y = -1,530 N/m$.

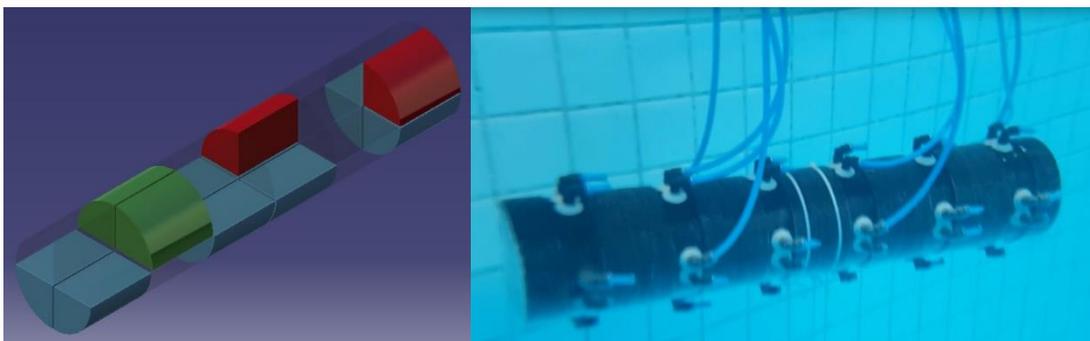
Figura 12: Avaria 2



Fonte: O autor (2018).

Após os cálculos do novo centro de massa foi possível observar que ele passa a se concentrar a uma distância de 17,85 cm da origem, em relação ao eixo horizontal. Nesse caso, foi proposto concentrar as cargas no lado oposto aos compartimentos que causaram uma condição de flutuabilidade negativa, a uma mesma distância da origem, proporcionando ao protótipo uma condição de flutuabilidade neutra e de equilíbrio estável.

Figura 13: Compensação 2



Fonte: O autor (2018).

Teste 3

Nesse teste será proposto uma outra forma de modificar o estado de flutuação, fazendo o uso, agora, dos compartimentos que funcionam como tanques de compensação. Tais tanques serão úteis tanto para devolver a estabilidade da embarcação como para fazê-lo adquirir uma flutuabilidade positiva. Nesse caso foi proposta uma situação de aplicação de cargas centrais fazendo com que o protótipo tenha a tendência de imergir, não gerando momentos de cabeceio e balanço. O centro de gravidade passou a ocupar a posição (0; 2,99; 0) cm.

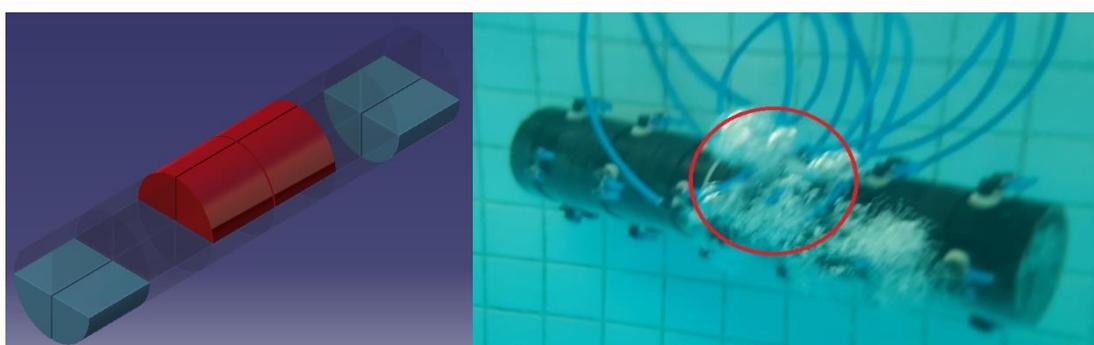
Figura 14: Avaria 3



Fonte: O autor (2018).

Nessa situação, apesar de ser mantida a condição de equilíbrio estável do flutuador é possível constatar que ele se encontra com uma flutuabilidade negativa constante. Para contornar a situação, os tanques de compensação foram esvaziados com o auxílio do compressor, fazendo com que a água escapasse pelas válvulas de respiração (Figura 15).

Figura 15: Compensação 3.1



Fonte: O autor (2018).

Com a medida adotada o submersível adquire uma flutuabilidade positiva, mantendo a condição de equilíbrio estável, fazendo com que o mesmo retorne a superfície.

Figura 16: Compensação 3.2



Fonte: O autor (2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho permitiu que fosse realizada uma análise de como os veículos operados remotamente alteram seu estado de flutuabilidade bem como alcançam a estabilidade durante a navegação com o uso dos sistemas de flutuadores. Diante disso, foi possível o desenvolvimento de conceito de protótipo de flutuador para simular suas condições de flutuabilidade e estabilidade para, por conseguinte, analisar se seu funcionamento atendia as expectativas do projeto.

Os resultados obtidos com os testes se mostraram bastante satisfatórios. O protótipo proposto demonstrou sua eficácia fazendo uso dos tanques de compensação, das válvulas e do sistema de ar comprimido para o controle do seu centro de gravidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa ARMTEC Tecnologia em Robótica e a coordenação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Fortaleza por auxiliarem no desenvolvimento do conceito de protótipo de flutuador.

REFERÊNCIAS

BOUCHONNEAU, Nadège et al. Análise da Absorção de Água em Dois Polímeros Expandidos: Desenvolvimento do Módulo de Flutuabilidade de Um Mini-Robô Submarino. **Polímeros**, Fortaleza, v. , n. , p.1-7, 22 fev. 2010.

CHRIST, Robert D; WERNLI, Robert L. **The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles**. 2. ed. Waltham: Elsevier Ltd., 2014. 679 p.

MAGALHÃES, Paulo Henrique Vieira. **Desenvolvimento de um submersível remotamente operado de baixo custo e caracterização dos sistemas de propulsão e vetorização de empuxo por hélice**. 2007. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Calor e Fluidos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NAVY. **Principles of Ship Performance: Course Notes**. Anápolis: U.s. Naval Academy, 2017. 477 p. (EN400).

NOGUEIRA NETO, et al. VEÍCULO REMOTAMENTE OPERADO IN-SHORE PARA DETECÇÃO DOS ASSOREAMENTO DOS AÇUDES. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 15., 2011, Cuiabá. **Artigo**. Cuiabá: [s.i], 2011. p. 1 - 8.