

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA EMBARCAÇÃO

BACH, Alison¹; SACKSER, Leonardo¹; RIFFEL, Lucas¹; EISERMANN, Wellerson¹.

¹ FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: lr002257@fahor.com.br

RESUMO

Este estudo é resultado da abordagem dos vários elementos da física e engenharia envolvidos no desenvolvimento de embarcações. Para tal, junto da pesquisa científica, foi elaborado um projeto de uma pequena embarcação com menor peso e volume possível, junto da maior capacidade de carga. Para tanto, foram impostos alguns limites e condições: (i), o volume do calado, não deve exceder $0,001\text{m}^3$ e, também, (ii), a embarcação carregada deve inclinar 15° e retornar à posição de estabilidade. Para a realização dos cálculos foram utilizados os princípios de Arquimedes, da flutuação, do centro de gravidade e do metacêntrico. A embarcação foi montada, basicamente, com chapas de MDF 3mm, folha de fórmica, fita adesiva, barra roscada e cola loctive. Nos cálculos de empuxo, as alturas de calado e de inclinação foram obtidas com êxito, ou seja, os resultados teóricos concordaram com os obtidos na prática.

Palavras chave: Embarcação. Construção. Projeto.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VESSEL

ABSTRACT

This study is a result of addressing the various elements of physics and engineering involved in a vessel development. In this way, together with the scientific research, a project of a small vessel with smaller weight and volume was possible, next to the highest load capacity. To this end, some limits and conditions were imposed: (i) the boat draft volume should not exceed $0,001\text{m}^3$ and also (ii), the loaded boat should tilt 15° and return to the stability position. To perform the calculations, the principles of Archimedes, buoyancy, center of gravity and

metacentric were used. The vessel was basically assembled with 3mm MDF sheets, formica sheet, adhesive tape, threaded rod and loctive glue. In the thrust calculations, the boat draft heights and slopes were successfully obtained, that is, the theoretical results agreed with those obtained in practice.

Keywords: Vessel, Volume, Buoyancy.

1 INTRODUÇÃO

Embarcação é toda construção feita em madeira, ferro, aço, fibra de vidro, ou da combinação desses e outros materiais, que flutua, sendo especificamente destinada a transportar, pela água, pessoas ou objetos.

Para o constante crescimento do mercado internacional, diversas modalidades de transportes são necessárias e, dentre estas, o transporte marítimo se caracteriza como a maior artéria dos negócios internacionais (NOBRE, 2005). Com isso, a construção de embarcações é sempre uma importante área para desenvolvimento e aplicação das tecnologias mais modernas da engenharia.

O projeto de um componente mecânico ou, mais amplamente, qualquer projeto de engenharia requer, para sua viabilização, um vasto conhecimento teórico das propriedades, técnicas e o comportamento dos materiais disponíveis. Para a confecção de embarcações não é diferente, pois elas são fruto da aplicação dos princípios da física, resistência dos materiais e mecânica dos fluídos. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar conceitos de Engenharia na projeção e construção de uma pequena embarcação. Como forma de aperfeiçoar o processo, o equipamento deve ter o volume do calado inferior a $0,001\text{m}^3$ devendo, em caso de inclinação de 15° , retornar a posição de estabilidade.

Para a construção de um navio, são necessárias várias etapas, desde a concepção da ideia, modelagem computacional e cálculos de empuxo, até a escolha do material, como fibras, de vidro e carbono, madeira e polímeros. Como se constata a construção da embarcação requer o conhecimento em várias áreas da engenharia, sendo assim, um projeto complexo.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os principais conceitos de Engenharia aplicados na construção da embarcação. Estes conceitos estão relacionados a diferentes áreas do conhecimento, mostrando a complexidade em sistematizar esta estrutura sistema tornando-a coerente com a sua função e o que se espera em termos de Engenharia.

2.1.1 Flutuação

De acordo com a segunda Lei de Newton, as condições necessárias para que qualquer corpo fique em repouso são que a soma das forças e dos momentos de força agindo sobre ele seja igual à zero. Sobre um corpo que flutua sobre água, agem as seguintes forças: força peso, força da pressão atmosférica e força da pressão da água (empuxo). Neste sentido, as forças verticais são as principais interações que devem ser consideradas atuando sobre uma embarcação, ou seja, força peso (que atua de cima para baixo) e força de empuxo (que atua de baixo para cima).

2.1.2 Princípio de Arquimedes

O Princípio de Arquimedes pode ser enunciado como: todo corpo mergulhado total ou parcialmente em um fluido sofre a ação de uma força vertical, denominada empuxo (E), dirigida de baixo para cima, cujo módulo é igual ao peso do volume do fluido deslocado pelo corpo (Eq. 1), tendo o ponto de aplicação coincidente no centroide, que é o centro de gravidade da porção de fluido deslocado pelo corpo (Serway, Raymond A., 2014). O módulo de empuxo (E) é dado por:

$$E = \gamma g V \quad (1)$$

Onde: E é o módulo da força de empuxo, em Newtons (N); γ é a densidade do Fluido, em $\frac{kg}{m^3}$; g é o módulo da aceleração da gravidade, em $\frac{m}{s^2}$ e V é o volume de fluido deslocado pelo corpo, em m^3 .

De acordo com o Princípio de Arquimedes (Eq. 1) o empuxo é igual ao peso do líquido deslocado, portanto, é possível perceber que o empuxo será tanto maior quanto maior for o volume de líquido deslocado e quanto maior for à densidade do líquido, assim:

Se ρ_L (densidade do fluido) < ρ_c (densidade do corpo), tem-se $E < P$ e, neste caso, o corpo imerge.

Se ρ_L (densidade do fluido) = ρ_c (densidade do corpo), tem-se $E = P$ e, neste caso, o corpo ficará em equilíbrio quando estiver totalmente mergulhado no líquido.

Se ρ_L (densidade do fluido) > ρ_c (densidade do corpo), tem-se $E > P$ e, neste caso, o corpo permanecerá emerso sobre a superfície do líquido.

Dessa forma, é possível determinar quando um sólido flutuará ou afundará em um líquido, simplesmente conhecendo o valor de sua massa específica.

2.1.3 Centro de gravidade

A posição do centro de gravidade de um corpo depende da forma e da distribuição de pesos do mesmo. No caso de embarcações (que são parcialmente “ocas”) a localização do centro de gravidade depende da posição do centro de gravidade da embarcação e da carga do mesmo.

Após um movimento de inclinação da embarcação, o centro de gravidade não pode estar na mesma localização longitudinal do que o centro de carena, ocorrendo assim uma instabilidade. A posição vertical do Centro de Gravidade é quase sempre mais alta do que a do centro de carena, porque a estrutura se estende acima da linha d’água; além disso, é mais fácil colocar qualquer item nas partes altas do navio do que no fundo dos porões.

Neste trabalho, por ser uma geometria complexa e depender da curva característica do formato do barco, o centro de gravidade foi determinado utilizando o software *SolidWorks* 2017, onde a embarcação foi projetada.

É relevante lembrar que a posição do centro de gravidade do navio varia quase que constantemente, porque é função de itens que são consumíveis ou removíveis de bordo. Assim, esta posição só tem significado para condições específicas de carregamento, como é o caso deste trabalho.

A estabilidade rotacional de um corpo imerso depende dos locais relativos do centro de gravidade G do corpo e do centro de flutuação B , que é o centroide do volume deslocado. Um corpo imerso é estável se tiver o fundo pesado e, portanto, se o ponto G estiver diretamente abaixo do ponto B . Uma perturbação rotacional do corpo em tais casos produz um momento de restauração para retornar o corpo a posição estável original. (CENGEL, CIMBALA, 2015, p. 102)

2.1.4 Metacêntrico

“A altura metacêntrica é uma propriedade da seção transversal para um dado peso e seu valor fornece uma indicação da estabilidade do corpo. Para um corpo de seção transversal e

calado variáveis, como no caso de um navio, o cálculo do metacentro pode ser muito complicado” (WHITE, 2011, P. 104).

Esta medida corresponde à medida que a carga pode ser erguida verticalmente até que o barco fique instável. Esta medida é a partir do centro de gravidade da embarcação, ou seja, a altura total da base até o peso é o metacêntrico (MG) somado ao centro de gravidade (CG).

A medida do metacêntrico depende diretamente da secção transversal do corpo flutuante, entretanto o metacêntrico também existe na medida longitudinal da embarcação, sendo este de menor importância. O metacêntrico é uma medida de estabilidade constituindo uma importante característica de qualquer embarcação ou construção flutuante. Sendo assim, quando o metacêntrico está acima do centro de gravidade a embarcação é estável, quando abaixo ou for igual ou menor que zero ela será instável. Esta medida é calculada a partir da equação 2:

$$MG = \frac{I \cdot \gamma}{E} - BG \quad (2)$$

Onde: MG é a unidade do metacentro (m); I é a inércia, em m^4 ; γ é a densidade do fluido em $\frac{kg}{m^3}$; E trata-se do empuxo, em Newtons (N) e BG é a diferença entre o centro de gravidade (CG) e o centroide (B), ambos em (m).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa é de caráter experimental, que, de acordo com Gill (2008), representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto, não necessitando ser realizada em um laboratório.

Para a realização deste trabalho, utilizou-se do software *SolidWorks* 2017, para a modelagem computacional. Como material estrutural selecionou-se chapas de madeira compensada de 3 mm de espessura, cortadas a laser, e como casco foi utilizado folhas de fórmica e fita adesiva. Para a haste foi utilizado barra de aço 1020 com rosca ¼". Com esta combinação e um peso de lastro, chegou-se às 980 gramas de peso final.

Na montagem, primeiramente, montou-se a estrutura do barco, que já havia sido projetada com encaixes para cada peça, para obter uma maior resistência. No momento em que estava tudo encaixado, foi utilizado a cola loctive em todos os encaixes para não desencaixar e também para reforçar a estrutura. Em seguida foram coladas, também com cola loctive, as

folhas de fórmica em torno do barco para formar o casco. E neste processo de formulação do casco, descobriu-se que com a fórmica não era possível realizar curvas acentuadas. Desta forma, para fechar todo casco do barco, foi passado fita adesiva ao redor de todo casco para assim ter uma vedação total do barco.

A montagem do lastro do peso foi feita com a barra rosçada, porcas, arruelas e cola loctive. Primeiramente foi colada uma porca no fundo do barco, e então foi rosqueada a barra na mesma. Esta barra rosqueada também foi colada na estrutura do barco para firmar a mesma. E, por fim, para a regulagem do peso, foram utilizadas mais duas porcas para posicionar o peso na posição neutra e na altura do calado.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Volume de líquido deslocado

Para um calado de $h = 40,4\text{mm}$, o volume deslocado será de $0,00093\text{m}^3$ (valor encontrado *SolidWorks* 2017, devido a forma complexa da embarcação).

2.3.2 Força de empuxo

Trata-se da força vertical de sentido oposto à embarcação, a qual possui a intensidade do peso de volume de líquido deslocado pela mesma. Esta força é descrita pela (Eq. 1), sendo o resultado:

$$E = \frac{9807\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00093\text{m}^3$$
$$E = 9,12\text{N}.$$

2.3.3 Massa total da embarcação

Indicação referente a massa total da embarcação, onde é considerado a massa da mesma mais das demais acrescentadas. O mesmo é representado pela seguinte equação:

$$Pm = Pe + Pa \quad (3)$$

Onde: Pm é a massa máxima da embarcação, em (kg); Pe trata-se da massa da embarcação em si, também em (kg); Pa serão as massa adicionais, dados em (kg).

Portanto, segundo a (Eq. 3), foi obtido:

$$Pm = 0,377\text{kg} + 0,550\text{kg};$$

$$Pm = 0,927\text{kg}.$$

2.3.4 Altura metacêntrica

A altura metacêntrica indica a distância entre o centro de gravidade da embarcação e o Metacentro (ponto central da oscilação), onde, uma maior altura inicial implica em maior estabilidade contra capotamento. Esta altura é representada pela (Eq. 2), e, através da mesma foi obtido:

$$MG = \left(\frac{0,0000859970828m^4 \cdot \frac{9807kg}{m^3}}{9,12N} \right) - (0,061m - 0,027m);$$

Obs: Valor de Inércia obtido através do *Software Solidworks*.

$$MG = 0,092475m - 0,034m;$$

$$MG = 0,058475m > 58,475mm \text{ (do CG).}$$

Ou seja, nosso peso poderá ser elevado 5,85cm de altura á partir do CG, ou 11,95cm do fundo da embarcação e continuar estável, acima disto estará instável e tombará.

2.3.5 Momento de restauração

Este será o esforço necessário para a embarcação retornar ao seu ponto estável após sofrer uma inclinação. O mesmo pode ser obtido pela equação:

$$Mr = \gamma \cdot \emptyset \cdot I \quad (4)$$

Onde: Mr representa o Momento restaurador, em (N.m); γ trata-se da densidade do fluido, em $\frac{kg}{m^3}$; \emptyset é o ângulo de inclinação, em graus ($^\circ$); I identifica a Inércia, em m^4 .

Portanto, através da (Eq. 4), obteve-se:

$$Mr = 9807kg/m^3 \cdot \text{Sen } 15^\circ \cdot 0,0000859970828m^4;$$

$$Mr = 0,218N \cdot m.$$

Ápos uma inclinação de 15° , será necessário um momento de 0,218N.m para que a embarcação retorne a posição original.

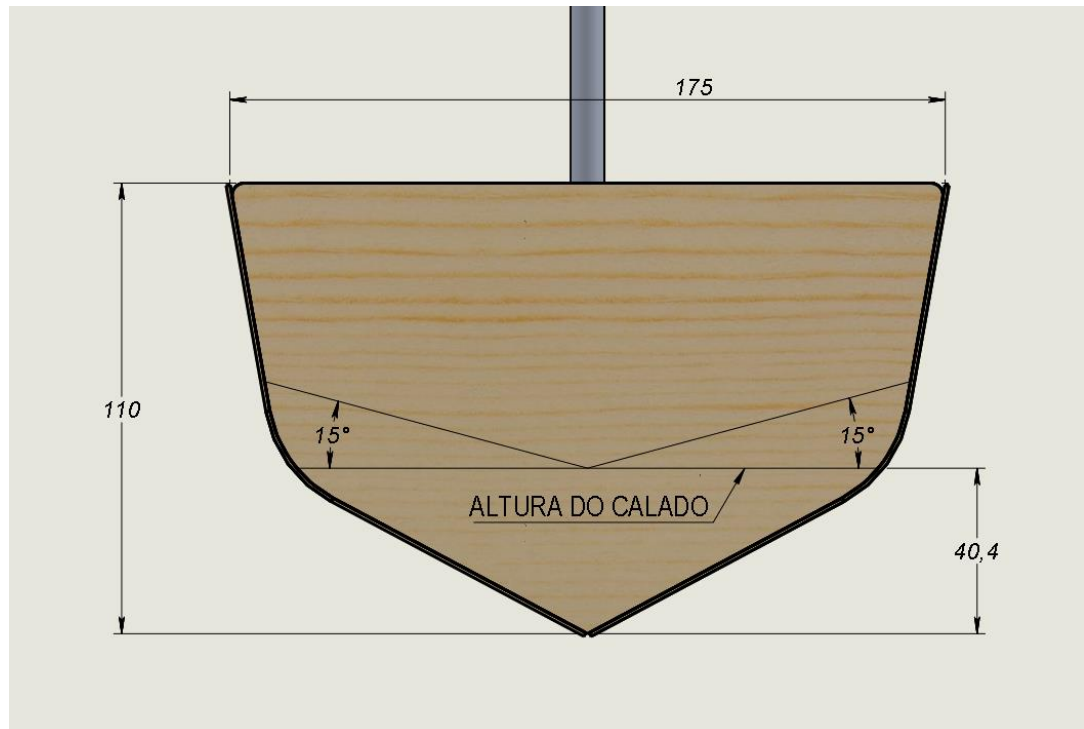
2.3.6 Volume total da embarcação

$V_t = 0,00429937877m^3$ (Valor obtido no *SolidWorks* 2017, devido a complexidade de geometria da embarcação).

2.3.7 Dimensões

As seguintes ilustrações representam as dimensões de projeto para a embarcação. Através da Figura 1 estão representadas as dimensões básicas de largura, altura, altura de calado e algulo de abertura para a embarcação.

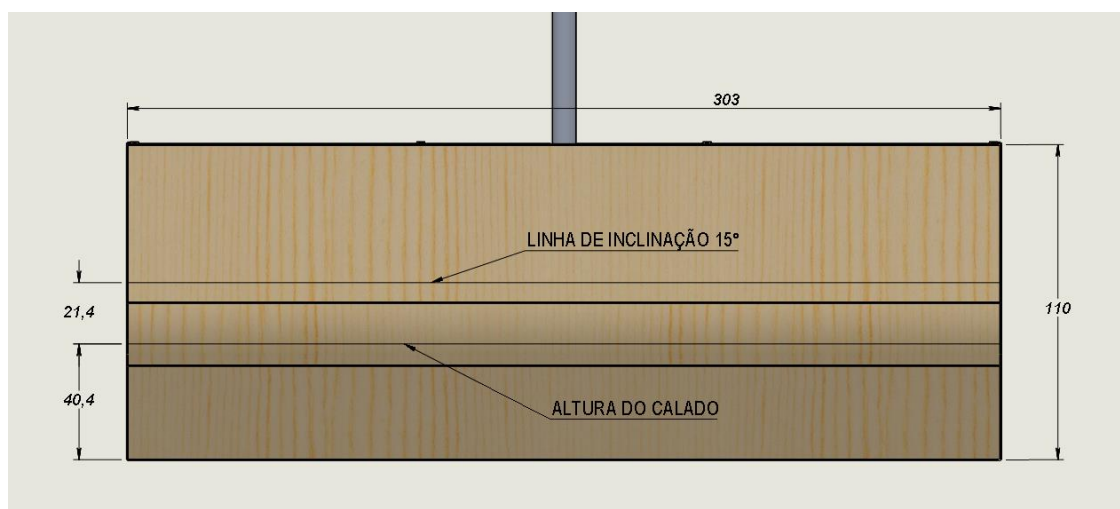
Figura 1: Dimensões da embarcação



Fonte: Autores, 2017

A seguir, representado na Figura 2, está uma vista lateral, onde é apresentado o comprimento total, altura total bem como as linhas de inclinação da embarcação.

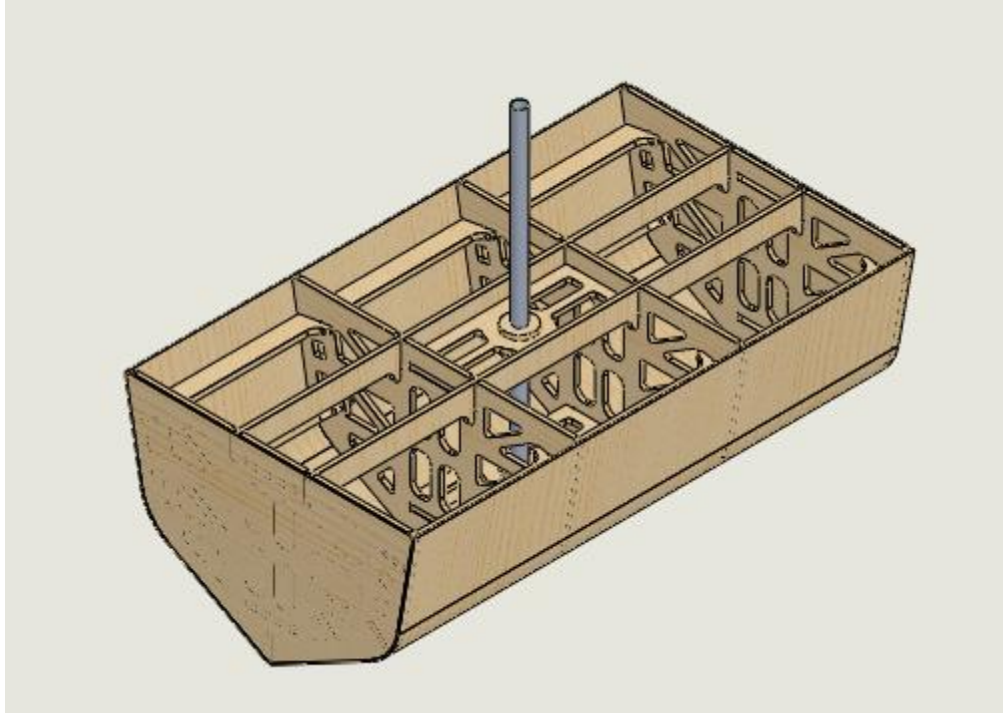
Figura 2: Altura do calado e linha de inclinação



Fonte: Autores, 2017

Para a Figura 3 a seguir, está representada a estrutura interna da embarcação, onde a mesma é feita de chapas de MDF de 3mm.

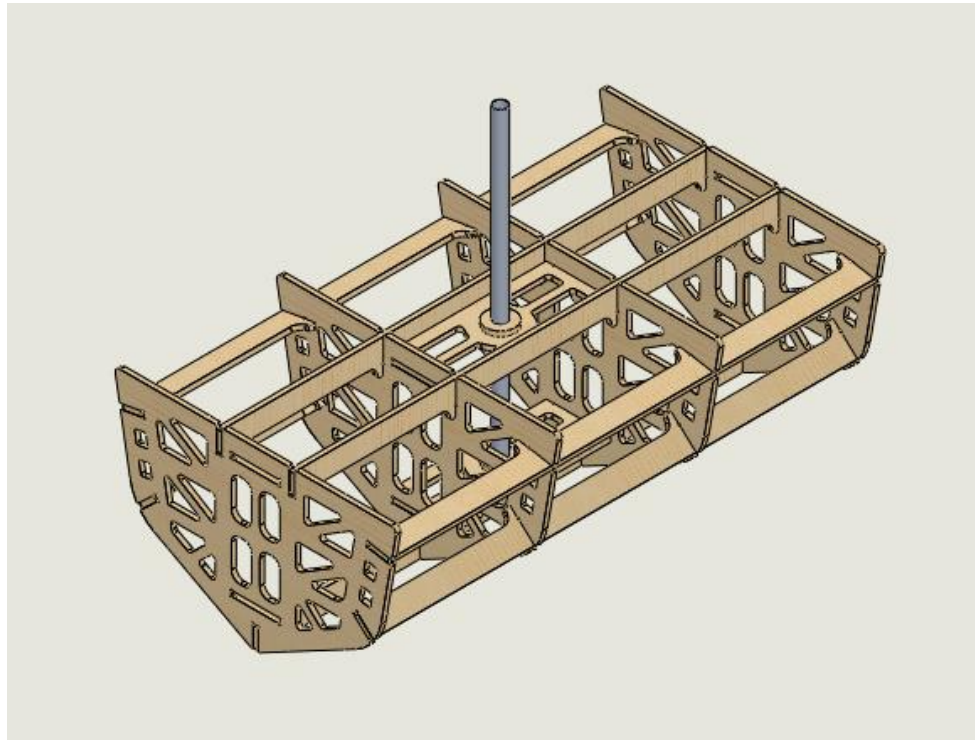
Figura 3: Ilustração da embarcação



Fonte: Autores, 2017

Para a Figura 4, estão representadas somente as chapas bem como o suporte para o adicionamento de peso.

Figura 4: Ilustração da embarcação



Fonte: Autores, 2017

2.3.7 Resultados

Como resultado da sequência de análise e cálculos obteve-se as características principais da embarcação, como o volume total e, volume de líquido que ela desloca. Junto da massa da embarcação somada às adições de pesos. Também à força de empuxo realizada. Por último, as características geométricas como a altura metacêntrica, a qual representa o ponto de equilíbrio da embarcação, e, ainda o centro de gravidade da mesma. Todos estes dados estão representados na Tabela 1:

Tabela 1: Resultados analíticos

Volume total da embarcação	0,00429937877m ³
Volume de líquido deslocado	0,00093m ³
Força de empuxo	9,12N
Massa do barco	0,377kg
Massa total	0,927kg
Altura metacêntrica	119,5mm
Centro de gravidade	X= 151,65mm Z= 61mm

Fonte: Autores, 2017

CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho foi possível analisar os fatores que influenciam na estabilidade de um barco com carregamento estático, como o centro de gravidade, a forma do calado e o ponto metacêntrico. Também foi possível analisar o projeto como um todo, através da realização de experimentos para comprovar a quantidade de carga que a embarcação carrega a partir dos cálculos realizados para o seu desenvolvimento.

Ao finalizar o trabalho atingiu-se o objetivo proposto inicialmente, com a embarcação atingindo um volume de calado de $0,001 \text{ m}^3$ e não afundando ao ser inclinada em 15 graus com uma carga estática. Obtendo este resultado a partir de uma geometria de calado boa, com um metacentro e um centro de gravidade baixos, dois fatores que devem ser observados ao se projetar uma embarcação. Além de se observar uma boa resistência estrutural do barco e um material leve para a sua construção. Também foi analisado a manufacturabilidade da embarcação, devido a restrições técnicas no processo de corte a laser, não foi empregado geometrias mais complexas e espessuras mais finas de material.

REFERÊNCIAS

- NOBRE, Marisa. SANTOS, Fernando Ribeiro. **O mercado de transporte marítimo: especialização, evolução e os reflexos na logística internacional**. XII SIMPEP – BAURU, SP. 2005
- CENGEL, Yunus. CIMBALA, John. **Mecânica dos fluidos: Fundamentos e aplicações**. 3. Ed. 2015.
- WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 6. ed. 2011.
- SERWAY, Raymond .A. JR, John W. Jewett. **Princípios da física. V.2: Oscilações, ondas e termodinâmica**. 5. ed. 2014.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- DOS REIS, Fabio Gonçalves. **Estabilidade e flutuabilidade básica**. Brasil, 2003.
- KHAN ACADEMY. **O que é força de empuxo**. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/physics/fluids/buoyant-force-and-archimedes-principle/a/buoyant-force-and-archimedes-principle-article>> Acesso em: 02 out. 2017.