



# ESCOLA NAVAL



*talant de bi-faire*

Brahimi Younes

*Robotização de uma Cápsula para salvamento marítimo*

*Abordagem numa Perspetiva de Arquitetura Naval*

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares  
Navais, na especialidade de Engenharia Naval – Ramo Mecânica.



Alfeite  
[2015]



# ESCOLA NAVAL

## DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

### DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS

*Robotização de uma Cápsula para salvamento marítimo*  
*Abordagem numa Perspetiva de Arquitetura Naval*

O mestrando,

---

ASPOF EN-MEC  
Brahimi Younes

O orientador,

---

CFR EN-MEC (ACN)  
Pires da Silva



## **Agradecimentos**

Os meus agradecimentos destinam-se aos meus amigos, camaradas, familiares e conhecidos, aos quais contribuíram ao longo da minha vida de acrescentar valores ao meu conhecimento e experiência na vida, aos quais estou eternamente grato.

A Escola Naval, especialmente, aos oficiais do Departamento de Ciência e Tecnologias pelo apoio, acompanhamento e conselhos que permitiram que eu seguisse em frente durante a realização desta dissertação.

Ao DN por ter fornecido contributos que melhorassem o meu trabalho.

Ao meu coorientador Capitão-de-fragata Pires da Silva, pelo apoio e interesse demonstrados durante a elaboração desta dissertação. As suas recomendações. Muito obrigado.

A minha família, por todo o apoio e afeto que foram dando durante este tempo em que fiquei longe deles.

A todos os meus camaradas dos dois cursos, em Argélia e em Portugal pela amizade e companheirismo por toda a ajuda que deram ao longo destes anos.



## Resumo

Busca e salvamento de é uma complicada e perigosa tarefa na situação de desastre, devido a grande área de busca e número de pessoas em risco. O aproveitamento do avanço tecnológico alcançado da robótica móvel e veículos não tripulados nos laboratórios e centros de pesquisa melhora o desempenho das equipas no campo e reduz o seu tempo de reação.

O objetivo do projeto ICARUS é aproveitar os benefícios deste avanço tecnológico e pô-lo em prática para salvar a vida humana, através de desenvolvimento de veículos terrestres, Drones e embarcações autónomos que podem operar individualmente ou cooperar juntos através de sistemas cujo desenvolvimento é um dos objetivos do projeto. Estes robots autónomos são a primeira ação na tarefa das equipas de salvamento a sua função é coletar e fornecer os dados necessários sobre a área para o centro de operações bem como procurar vitima e dar a ajuda necessária as pessoas em risco no local.

As embarcações autónomas fazem parte de objetivos do projeto ICARUS devido as características ambientais e geográficas especiais do mar, tais como a grande área de busca em caso de navios naufragos e limitações que o mau tempo provoca para as operações de busca e salvamento, por outro lado, o estreito intervalo de tempo disponível para qualquer ação.

Um dos requisitos do projeto é o desenvolvimento duma cápsula autónoma de salvamento que vai fazer parte da embarcação, capaz de navegar no mar de modo cobrir uma determinada área e juntar os dados necessários sobre o local, e procurar vítimas de forma eficaz.

O objetivo da dissertação é abordar o projeto de robotização da cápsula numa perspetivo de arquitetura naval, fazendo o estudo e análise necessários para produção dum modelo da capsula respeitando os requisitos do projeto ICARUS.

Palavras-chave: estabilidade, resistência, braço endireitente, momento endireitente.



**Abstract:**

Search and rescue is a complicated and dangerous task in a disaster situation, because the area of search and number of people at risk. Taking advantage of technological advances achieved in mobile robotics and unmanned vehicles in the laboratories and research centers improves the performance of teams in the field and reduces your reaction time.

The aim of ICARUS project is to take advantage of this technological advance and put it into practice to save human life, through development land vehicles, drones and autonomous vessels that can operate individually or cooperate together through systems whose development is a the project objectives. These autonomous robots are the first action in the task of rescue teams its function is to collect and provide the necessary data on the area to the center of operations and seek victim and give the necessary help people at risk on site.

The autonomous vessels are part of the ICARUS project goals due to environmental and geographical features special sea, such as the large search area in case of shipwrecked vessels and limitations that bad weather causes for search and rescue operations, on the other hand the narrow time frame available for any action.

One of the design requirements is the development of an autonomous rescue capsule that will be part of the vessel, able to navigate at sea in order to cover a certain area and gather the necessary data on the site, and search for victims effectively.

The purpose of this work is to approach the robot design the capsule in a perspective of naval architecture, making the study and analysis necessary for production of a model of the capsule following the guidelines of the ICARUS project.

Keywords: stability, resistance, righting arm, righting moment.



## Índice

Agradecimentos .....	I
Resumo.....	III
Abstract: .....	V
Índice .....	VII
Lista de figuras.....	X
Lista de Tabelas .....	XII
Lista de gráficos.....	XIV
Lista de símbolos .....	XVI
Capítulo 1 - Capítulo 1 .....	1
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	2
Capítulo 2 - Dimensionamento inicial .....	5
2.1. Introdução .....	6
2.2. Método.....	7
2.3. Equipamentos de Ucap: .....	8
2.4. Desenho inicial de conceito:.....	8
2.4.1. Dados.....	9
2.4.2. Ratios e coeficientes de forma .....	9
2.4.3. Cálculo de parâmetros de Ucap: .....	12
Capítulo 3 - Estabilidade.....	16
3.1. Introdução .....	17
3.2. Método .....	19
3.3. Desenho do modelo no SolidWorks:.....	20
3.4. Sistema de coordenadas: .....	21
3.5. Elaboração do desenho:.....	22
3.5.1. Casco.....	22
3.5.2. Superestrutura .....	22
3.5.3. Deslocamento total: .....	22
- Sistema de coordenadas: .....	23
3.6. Cálculo de centro de gravidade .....	24
3.7. Desenho do modelo no Modelmaker: .....	25
3.8. Estabilidade do modelo:.....	26
3.9. Estabilidade de Ucap1: .....	28

3.9.1. Ajustes na UCAP1: .....	30
3.10. Estabilidade de ucap2.....	31
3.11. Estabilidade geral .....	35
3.12. Estabilidade de Ucap 3 .....	36
3.12.1. Curva de estabilidade Ucap3.....	37
Referências bibliográficas .....	41



## Lista de figuras



## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Dados de equipamentos na Ucap.

Tabela 2 – Parâmetros base das embarcações para estimação de coeficientes de forma da Ucap.

Tabela 3 – Coeficientes calculados das plataformas

Tabela 4 – Características e dimensões da Ucap a base dos coeficientes das 4 plataformas em estudo.

Tabela 5 – Intervalo dos coeficientes aceites de acordo com os resultados do dimensionamento inicial.

Tabela 6 – Peso e coordenadas de centro de massa dos equipamentos.

Tabela 7 – Centro de gravidade e deslocamento de Ucap1.

Tabela 8 – Dados de entrada da Ucap1.

Tabela 9 – Valores do Braço endireitente de Ucap1 obtidos no Autohydro.

Tabela 10 – Deslocamento total e centro de gravidade de Ucap2.

Tabela 11 – Intervalo dos coeficientes de Ucap 2 com os resultados do dimensionamento inicial.

Tabela 12 – Dados de entrada de Ucap2 com deslocamento total com e sem balsa.

Tabela 13 – Valores de braço endireitente de Ucap2 no intervalo de estabilidade positiva.

Tabela 14 – Dados de entrada de Ucap2 com deslocamento total com e sem balsa.

Tabela 15 – Estabilidade dinâmica de Ucap1 e Ucap2.

Tabela 16 – Dados de entrada de Ucap2.

Tabela 17 – Deslocamento com e sem balsa da Ucap3.



### **Lista de gráficos**

Gráfico 1 – Curva de Braço endireitente da Ucap1.

Gráfico 2 – Curva do Braço endireitente da Ucap2.

Gráfico 3 – Comparação das curvas de estabilidade de Ucap1 e Ucap2.

Gráfico 4 – Dados de entrada de Ucap2.



## Lista de símbolos

$A_{ST}$  = Área imersa da seção transversal  
 $A_{total}$  - Área total  
 $B$  - Centro de carena  
 $BE$  – Binário Endireitante  
 $BI$  – Binário Inclinante  
 $BM$  – Raio metacêntrico  
**Braço** = Comprimento do raio do anel  
 $CG$  - Centro de Gravidade  
 $d$  – Distância  
 $F$  - Força  
 $g$  – Aceleração da gravidade  
 $G$  - Centro de gravidade do navio  
 $GM$ – Altura metacêntrica  
 $GZ$ – Braço endireitante  
 $h$  - Altura do objeto  
 $hc$  - Distância vertical entre o centróide  
 $I$  – Impulsão  
 $K_0$  - Altura inicial  
 $KB$  – Altura do centro de carena  
 $KG$  - Altura do centro de gravidade do navio  
 $KM$  – Altura do metacentro  
 $m$  - Massa  
 $M$  – Binário de estabilidade transversal; Metacentro  
 $LPP$  = Comprimento entre perpendiculares  
 $P$  - Peso  
 $P_0$  - Pressão  
**Peso** = Valor apresentado no dinamômetro  
 $TCG$ - Centro de Gravidade Transversal  
 $VCG$  - Centro de Gravidade Vertical  
 $V_{Im}$  = Volume imerso  
 $V_{total}$  = Volume total  
 $V_{batelão}$ - Volume do batelão  
 $w$  - Peso adicionado ou removido  
 $W$  - Peso total do navio, incluindo a adição ou remoção de pesos  
 $z$  - Distância a que o peso se encontra  
 $\bar{y}$ – Distância transversal da massa de teste  
 $\Delta_0$  - Deslocamento inicial  
 $\Delta$  - Deslocamento  
 $\rho$  – Densidade do líquido  
e a superfície livre do líquido  
 $\rho_f$ - Densidade do fluido;  
 $s$  - Altura a que o objeto esta mergulhado no fluido;  
 $\nabla$  - Volume deslocado



# Capítulo 1

## Introdução

## **1.1. Enquadramento**

A cápsula de salvamento marítimo é uma embarcação em si, o seu projeto de construção tem que seguir na sua base os passos que qualquer navio segue na sua construção de início até ao fim, ainda é necessário respeitar em qualquer passo a natureza tecnológica especial que a cápsula como um robot, visto que é fundamental por o projeto de construção da mesma no quadro da robótica móvel.

Várias abordagens são possíveis de fazer no projeto da cápsula, o trabalho é baseado numa destas, que é a arquitetura naval em que vai ser feito o estudo necessário com base em determinados parâmetros e requisitos identificados numa fase inicial, para obter na fase final a geometria final. Posteriormente pretende-se construir um modelo, cuja escala vai depender das dimensões finais que servirá base para futuros desenvolvimentos da balsa autónoma, nos domínios do comando e controlo, acionamento mecânico autónomo, otimização de manobrabilidade e comportamento no mar, otimização da propulsão.

O estudo que será feito neste trabalho não se foca unicamente na Arquitetura Naval mas também será necessário fazer uma previsão de estabilidade da cápsula bem como a sua resistência e propulsão visto que estas áreas de desenvolvimento são interligadas e fundamentais para atingir o objetivo final do trabalho.

A identificação dos parâmetros da cápsula a base dos requisitos do projeto ICARUS e necessidades de utilizador final é fundamental, bem como o aproveitamento das passadas experiências de projetos de natureza semelhante, principalmente o trabalho feito na Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto (FEUP – INESC-TEC), uma cápsula que não foi um produto em que tenha existido estudo detalhado nas várias áreas de Arquitetura Naval.

A Marinha Portuguesa é um utilizador final desta cápsula, por conseguinte é necessário ter em conta os meios que a marinha tem e as suas capacidades operacionais, por forma fazer com que a utilização da cápsula seja adaptada a estes meios.

## 1.2 Pertinência do tema

O tema da tese entra na linha de investigação da robótica móvel do CINAV, para a qual contribuem várias áreas da engenharia principalmente a Arquitetura e Construção de Navios e o seu resultado contribui para as operações de socorro no mar, que é uma tarefa de risco e complexa, e a sua eficácia dependente de rapidez de reação e eficácia de intervenção. O estudo da geometria do casco e a determinação do deslocamento necessário para a cápsula numa base científica vai melhorar o desempenho da capsula é por sua vez as operações SAR.

Hoje em dia, os cruzeiros por exemplo, têm uma grande capacidade de transporte de pessoas; Devido às condições ambientais ou por outras causas podem sofrer acidentes no mar, esta situação é um desastre. É necessário envolver muitos meios e recursos para as operações SAR em massa (*“mass rescue”*) devido ao número de pessoas e reduzir o máximo a duração das operações, isto é, chegar ao local, procurar, recolher as vítimas do mar rapidamente, uma situação pode ser resolvida através dum elevado número de cápsulas a realizar as operações de salvamento no local juntamente com outro tipo veículos autónomos.

O problema é a performance da cápsula no mar que é dependente da sua geometria, ou seja, obter uma geometria ideal para que a cápsula poder navegar até o local exato com estabilidade e com uma estrutura resistente e dimensões ideais para socorrer um determinado número de pessoas, além disso determinar o deslocamento necessário e a carga que pode levar para cumprir os seus objetivos.



# **Capítulo 2**

## **Dimensionamento inicial**

## 2.1. Introdução

Nas primeiras fases de projeto é criado o conceito inicial que identifique características gerais do navio como o comprimento L, Boca B, pontal P, deslocamento total; Para tal existe vários métodos a abordar que dependem do tipo do navio e a sua missão que geralmente começam por determinar o comprimento entre perpendicular Lpp, e a partir de aí se consegue as outras dimensões principais. Por isso é necessário selecionar primeiro qual é o método.

Na procura de selecionar um método fiável, não houve nenhum que seja aplicável no nosso caso, devido a natureza de Ucap como um veículo autónomo com dimensões muito pequenas, peso leve e missão diferente comparado com os navios que tais métodos tradicionais tratam.

Um exemplo dos métodos usados é a abordagem em termos de minimização de custo usando a equação de Schneekluth's (Schneekluth's formula) Esta abordagem permite a determinação do comprimento mas não é adequada porque é só aplicável a navios com deslocamentos acima de 1000 t com  $0.16 \leq F_n \leq 0.32$ . Outros métodos que são mais usados baseiam-se nos dados de outros navios semelhantes já construídos e testes já feitos produzindo formulas matemáticas que permitem identificar o comprimento de novo navio de modo ter um desempenho semelhante, mas apresentam o mesmo problema de serem aplicáveis só a navios de maior deslocamento, alguns deles são:

- Comprimentos do navio recomendado à partir de estatísticas de Volker's (19746) que se destina a navios de carga geral, navios-tanques, navios de arrasto e de transporte, o que significa a não compatibilidade deste método.
- Comprimento recomendado por Ayre.
- Comprimento recomendado por Posdunine.

Alem de comprimento L, é necessário estimar a Boca, pontal P e o deslocamento, usando coeficientes de forma e outros parâmetros de navios semelhantes para garantir desde o inicio que as dimensões iniciais não provocam grandes problemas nas fases mais adiantes de projeto em que se estuda a estabilidade e resistência e vários outros aspetos. Estes coeficientes são tabelados ou produzidas em diagramas para consultar para cada tipo de navio.

A complexidade deste processo é falta dados e estudos destinados a embarcações pequenas como a Ucap, que é um veículo autónomo entra na gama das plataformas que são conhecidas como USV (Unmanned Surface Vehicles). Para ultrapassar esta dificuldade surgiu a necessidade de criar um processo semelhante que começa por juntar dados de USV's já construídos e calcular os coeficientes a partir das dimensões destes veículos de modo conseguir através destes ratios e parâmetros a primeira previsão das dimensões iniciais de Ucap, tendo em conta os requerimentos de projeto e suas limitações.

Mais adiante, ao analisar os resultados dos estudos de estabilidade e resistência será confirmado se a estimação inicial das dimensões é aceitável ou não, bem como, é possível

obter os coeficientes de forma de casco e avalia-los. Portanto, o estudo nesta fase não obriga a obter resultados exatos mas aproximados.

## 2.2. Método

O método que será detalhado neste capítulo tem como objetivo conseguir estimar dimensões iniciais da Ucap razoáveis, fazendo a interligação entre 3 bases (figura 1):

- Respeitar os requerimentos iniciais de Ucap.
- Elaborar um desenho inicial que traduz o conceito de Ucap. No qual, deve-se posicionar todos os equipamentos necessários respeitando os seus pesos e as suas dimensões, além de modo de desparro da balsa, por forma compactar o volume ocupado. Este desenho vai limitar as dimensões para não haja espaço não necessário.
- Partindo de uma base de dados que agrupa os parâmetros de quatro embarcações semelhantes, que são o comprimento L, Aboca B, pontal D, calado T e deslocamento  $\nabla$ , calcula-se os ratios que permitiam estimar as dimensões da Ucap.

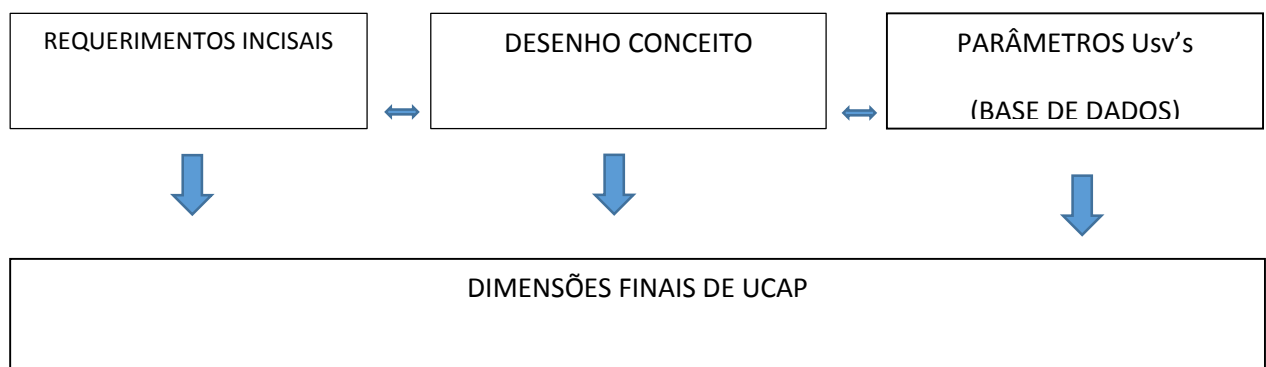


Figura 1- Bases do método de dimensionamento inicial

### 2.3. Equipamentos de Ucap:

A abordagem seguida consiste em primeiro lugar em tirar as dimensões e medir os pesos dos equipamentos que serão montados na Ucap e são necessários para a sua operação, como as baterias, balsa salva vidas, o computador de bordo e a unidade de WaterJet, atribuindo um valor de peso aproximado ao sistema de desparro da balsa e o sistema de fecho e abertura da porta (tabela 1), bem como o peso de segundo grupo relativo a estrutura de Ucap.

A partida, o peso de Ucap inicial será de 100 kg. Numa fase seguinte ao desenhar o modelo no SolidWorks partindo dos resultados das dimensões no fim de dimensionamento inicial, podemos obter um valor mais rigoroso de peso total.

Nº	Equipamento	Dimensões [mm]	Peso [Kg]	Notas
1	Balsa Ocean safty	750·480·280	28	-
2	BOX 01 ( computador )	190·190·100	1	Comando e controle
3	BOX 02 (Pack baterias Li-PO)	200·120·75	10	1 Pack ( 2 baterias)=2.5Kg Total de 4 packs
4	Camara + antena	-	1.3	-
5	Sistema de desparro da balsa	-	≈2	1 garrafa ar comprimido + saco insuflável
6	Unidade propulsora	280·130·120	3.5	Motor + water-jet
*	Peso total equipamentos	-	45.8	-
7	Estrutura	-	≈54.2	-
	Peso total	-	100	-

Tabela 1 – Dados de equipamentos na Ucap.

### 2.4. Desenho inicial de conceito:

Na elaboração do desenho inicial que procurou-se respeitar os requerimentos iniciais que limitam as dimensões de Ucap com L=3m B=1.5, D=1.1, bem como posiciona os equipamentos mais baixos possível para baixar a altura de centro de gravidade KG ocupando menos espaço possível de volume de interior de veículo, mostra o conceito inicial com a balsa salva vidas a ré e a unidade propulsora constituída por um motor elétrico e um WaterJet no eixo de meio navio a Ré. O resto de equipamentos fica mais Vante por forma compensar o efeito de peso de balsa que vai deslocar o centro de gravidade para ré.

A Ucap neste caso tem o comprimento L de 1.5m e boca de 50cm e pontal de 50 cm, que não entram em conta com a superestrutura que vai alterar a altura total de embarcação de modo obter a característica auto-endireitente de Ucap mais adiante, nela, é montada a câmara e antena mais a Ré. Portanto, com D igual a 50cm, a altura de casco não inclui a altura de superestrutura.

### 2.4.1. Dados

Começando então por criar a base de dados dos Usv's semelhantes de forma e tipo, nomeadamente o comprimento L, boca B, Pontal D, calado B e o peso de embarcação  $\Delta$ , estes parâmetros são ilustrados na Tabela 2.

	C-target3	C-worker	MMSV	USSV
$L_{PP}$ [m]	3.500	5.800	3.300	10.680
B [m]	1.400	2.200	0.600	3.050
D [m]	1.300	2.200	-	-
T [m]	0.600	0.900	0.400	0.560
$\Delta$ [t]	0.325	5.000	0.280	9.300
$\nabla$ [m <sup>3</sup> ]	0.317	4.787	0.273	9.073

Tabela 2 – Parâmetros base das embarcações para estimação de coeficientes de forma da Ucap.

### 2.4.2. Ratios e coeficientes de forma

Os parâmetros necessários de calcular, são a razão comprimento/descolamento M, A razão boca/calado  $K_B$ , A razão calada/pontal T/D, Coeficiente de bloco  $C_B$  e o volume de deslocamento  $\nabla$ . Estes parâmetros que são os poucos que se consegue calcular partir de base de dados, tem importância relevante na forma de carena bem com a estabilidade e resistência de embarcação.

A razão comprimento/deslocamento M, permite calcular o comprimento de embarcação necessário para o deslocamento estimado no início a Ucap e tem papel importante nos cálculos de propulsão.

O coeficiente de bloco  $C_b$  e coeficiente prismática  $C_p$  dão o grau de finura de carena em relação a o produto de (B,T,L) e (B, T), respetivamente, que tem um papel importante, principalmente na resultado de potencia necessária para a operação de Ucap visto que cada vez o valor destes coeficientes é maior, maior será a potencia necessária devido a resistência originada por corpos mais largos em relação aos mais finos durante o movimento. Só o  $C_b$  que será usado neste caso, porque não é possível calcular o  $C_p$  por falta de dados, apesar a sua importância em determinar a concentração de volume ao longo de comprimento de veículo,

mas esse ponto será resolvido depois ao modelar o casco no solidworks e estudar a estabilidade usando e Autohydro.

A escolha do  $K_b$  e  $T/d$  tem origem a sua importância na estabilidade transversal, O  $t/d$  afeta os valores dos binários de estabilidade, por sua vez, aumento de  $K_b$  provoca um ligeiro aumento na resistência e conseqüentemente um ligeiro aumento de potência necessária.

Numa folha de cálculo de Excel são calculadas as seguintes razões e coeficientes:

1) A razão comprimento/descolamento  $M$ :

$$M = L/\nabla^{\frac{1}{3}}$$

- $L$  = comprimento de veículo [m].
- $\nabla$  = Volume de deslocamento [ $m^3$ ].

2) Volume de deslocamento  $\nabla$ :

$$\nabla = \Delta/\rho$$

- $\rho = 1.025$  = Densidade de água salgada [ $\frac{t}{m^3}$ ],
- $\Delta$  = Deslocamento de veículo [t]

3) A razão boca/caldo  $K_B$ :

$$K_B = \frac{B}{T}$$

4) Coeficiente de bloco  $C_B$ :

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T}$$

Estas equações são aplicadas a cada  $U_{sv}$ , resultando os valores mostrados na tabela 1:

	C-target 3	C- worker	MMSV	USSV-HS	INTERVALO	MÉDIA
$\nabla [m^3]$	0.317	4.878	0.273	9.073	-	-
M	5.133	3.420	5.086	5.151	[3.42 – 5.151]	4.690
$K_B$	2.333	2.444	1.500	5.446	[1.50 – 5.446]	2.931
$C_B$	0.108	0.425	0.345	0.497	[0.108 – 0.497]	0.344
T/D	0.462	0.409	-	-	-	0.435

Tabela 3 – Coeficientes calculados das plataformas

Os valores médios são calculados desta forma:

$$X_{media} = \frac{X_{C-TARGET\ 3} + X_{C-worker} + X_{MMSV} + X_{USSV-HS}}{4}$$

Em que :

$$X = (M, K_B, C_B, \left(\frac{T}{D}\right))$$

No caso de T/D:

$$\left(\frac{T}{D}\right)_{MMSV} = 0$$

E

$$\left(\frac{T}{D}\right)_{USSV-HS} = 0$$

### 2.4.3. Cálculo de parâmetros de Ucap:

Volume de deslocamento:

Para o cálculo das dimensões de Ucap é usado o volume de deslocamento correspondente ao deslocamento de Ucap:

$$\Delta = \nabla / \rho$$

Com :

$$\Delta = 0.1t$$

E:

$$\rho = 1.025$$

Então:

$$\nabla = 0.098$$

COMPRIMENTO L:

No caso de comprimento L, é considerado o comprimento entre perpendiculares apesar que o L usado para calcular os coeficientes a partir de base dados deveria ser o comprimento de linha de água  $L_{WL}$ , Mas foi considerado o Lpp no cálculo, portanto o resultado será Lpp.

Na tabela 4 são ilustrados os valores das dimensões de Ucap resultados de aplicação das seguintes fórmulas:

Comprimento Lpp:

$$L_{pp} = M \cdot \nabla_{ucap}^{\frac{1}{3}}$$

Calado T:

$$T = \frac{\nabla_{ucap}^{1/3}}{[M \cdot C_B \cdot K_B]^{1/2}}$$

Boca B:

$$B = T \cdot K_B$$

Para calcular D é usada a media da razão T/D de dois veiculos ( Ctarget e Cworker) :

$$\frac{T}{D}(Ucap) = \frac{\left[\left(\frac{T}{D}\right)C_{target} + \left(\frac{T}{D}\right)C_{worker}\right]}{2} = 0.435$$

Então:

$$D = \left(\frac{T}{D}\right) Ucap \cdot T$$

Demensoes de ucap	C-target 3	C-worker	MMSV	USSV-HS	MÉDIA
$L_{pp}$ [m]	2.363	1.574	2.341	2.357	2.159
B [m]	0.945	0.597	0.426	0.673	0.621
T [m]	0.405	0.244	0.284	0.124	0.212
D [m]	0.931	0.561	0.652	0.284	0.487

**Tabela 4 – Características e dimensões da Ucap a base dos coeficientes das 4 plataformas em estudo.**

Para melhor análise de resultados, usou-se os coeficientes correspondentes a cada Usv , por exemplo , ao aplicar M, KB e Cb de C-target 3 obtemos a dimensões de Ucap Lpp, B e T na primeira coluna , o mesmo com C-worker na segunda coluna , e assim sucessivamente, exceto o valor de D em todos os casos que é calculado usando o valor medio (T/D) igual a (0.435). Na última coluna são usados os valores médios dos coeficientes dos quatro Usv's.

#### Resultados finais

No Inicio foram postas 3 bases que devem ser respeitadas para escolher as dimensões iniciais fig. Visto isto, ao analisar os resultados na tabela 31 tendo em conta os limites considerados pós a elaboração de desenho inicial que traduz o arranjo geral de Ucap, podemos finalizar a escolha das dimensões finais nesta fase, estes dimensões farão a base de partida no seguinte capítulo.

O comprimento Lpp varia entre 1.57 m e 2.36m, mas no desenho de conceito Ucap limita o valor mínimo de Lpp em 1.6 m, portanto a partida obteve-se por um valor de Lpp d 1.7m.

O D foi limitado no início pelo aragano por um valor mínimo de 0.45m mas devido a posição da balsa em cima de WaterJet, um valor minore dos resultados na tabela 21 será rejeitado. Valores superiores vão causar um aumento desnecessário de volume e por sua vez um aumento no peso da estrutura do casco em cima da linha de agua que pode causar a elevação

do entro de gravidade de Ucap. Portanto assumimos o valor de 0.45m desde que não sai do intervalo dos Valores de pontal D resultados do cálculo.

O mesmo acontece com a boca B, que é definida pela largura da balsa que limita-o no mínimo de 0.5m. Assim B com 0.55m será um valor que compra os requisitos e os resultados.

Então as dimensões e o deslocamento iniciais da Ucap serão:

$$\Delta = 0.1 t$$

$$L_{PP} = 1.7 m$$

$$B = 0.55 m$$

$$D = 0.45 m$$

$$T = 0.25 m$$

Depois da escolha das dimensões, aplica-se as fórmulas para  $\nabla$ ,  $M$ ,  $K_B$ ,  $C$  e  $\frac{T}{D}$ , com:

$$\nabla = 0.098 m^3 E$$

$$\frac{T}{D} = 0.500$$

Teremos então:

$$M = 3.662$$

$$K_B = 2.444$$

$$C_B = 0.231$$

Estes ratios mentem-se dentro de intervalos obtidos no cálculo, a razão pela qual serão aceites e adotadas nas seguintes fases de trabalho (tabela 5).

	INTERVALO
$\nabla [m^3]$	-
M	[3.42 – 5.151]
$K_B$	[1.50 – 5.446]
$C_B$	[0.108 – 0.497]
T/D	0.5

Tabela 5 – Intervalo dos coeficientes aceites de acordo com os resultados do dimensionamento inicial.



# **Capítulo 3**

## **Estabilidad**

### 3.1. Introdução

Um corpo quando posto num fluido líquido pode ou não flutuar dependente de sua densidade relativamente a densidade deste líquido, neste trabalho o fluido é a água salgada é o corpo que pretendemos que flutua é a Ucap. Portanto a Ucap deve ter um volume de querena apropriado para o seu deslocamento, de modo a densidade de embarcação. Neste sentido, ao fazer que as dimensões de Ucap estimadas não resultam num  $C_B$  de Ucap fora de intervalo do  $C_B$  das 4 embarcações, estamos a garantir que o volume de querena correspondente ao peso de 100kg inicialmente estimado é apropriado para a Ucap.

A flutuabilidade unicamente não é suficiente, porque deve-se estudar e analisar outros campos essenciais para a operação de Ucap. Neste capítulo será a estabilidade, em que a Ucap deve ficar inicialmente na posição de equilíbrio estável, e deve ter a capacidade de voltar a posição de equilíbrio logo após a remoção das forças que provocam o desequilíbrio, essencialmente nas inclinações transversais.

A estabilidade compõe-se em estabilidade inicial, em que trata de inclinações pequenas 0 a 10 graus, ao qual podemos aplicar a teoria metacêntrica partindo de pressuposto que o metacentro não altera de posição neste intervalo de ângulos de inclinação sejam transversais ou longitudinais. Para maiores ângulos entramos na estabilidade geral ou total, porque um navio pode sofrer ângulos maiores e aqui vamos focar na estabilidade transversal e não a longitudinal como é usual. Além disto existe a estabilidade dinâmica que é a energia necessária que o navio deve ter para voltar ao equilíbrio após de as ações inclinantes deixam de ter efeito ao navio, neste caso a Ucap.

Para o estudo de estabilidade é necessário ter em mão um plano geométrico feito do navio, que defina a forma de casco de navio e particularmente a forma de querena. Este plano é basicamente um produto dos estudos feitos nas fases iniciais de projeto de navio, de modo obter uma forma de querena que dá o desempenho previsto nestas fases para a estabilidade, resistência, propulsão,.. Etc.

O plano geométrico baseia-se nos coeficientes de forma e razões geométricas como  $M$ ,  $K_B$ ,  $C_B$ ,  $T/D$ ,  $LCF$ ,  $LCB$ ,  $VCB$ , entre outros, que traduzam as características de querena em forma de desenhos de perfil que definam as coordenadas das secções transversais e longitudinais de casco do navio, partir de qual se aplica métodos tradicionais de cálculo integral de momentos de áreas e volumes ou programas computacionais para produção de todos os dados e diagramas que traduzem a estabilidade de navio como por exemplo a curva de braço endireitente.

Como foi dito na fase de dimensionamento inicial, os resultados dos coeficientes e das razões geométricas são limitados em  $(M, K_B, C_B, T/D)$ , sendo impossível elaborar um plano geométrico usando os métodos tradicionais e aplicar os cálculos integrais de momentos de áreas e volumes relacionados com o estudo de estabilidade.

Por isso foi importante fazer uma abordagem diferente e iterativa que consiste em desenhar um modelo geométrico de Ucap com as dimensões estimadas no capítulo anterior e que correspondem ao conceito inicial, e depois fazer o estudo de estabilidade em si deste modelo no Autohydro. Partindo dos resultados obtidos, faze-se as alterações dentro do possível na geometria de Ucap e acertar o posicionamento dos equipamentos melhorando os resultados no sentido de aumentar o braço endireitente no intervalo dos anglos de estabilidade positiva ate o anglo de perda de estabilidade.

Pós concluir o estudo de estabilidade vai ser desenhada a superestrutura própria para dar a característica auto-indieriante de Ucap, concluindo por a elaboração do desenho final que será o UCAP3.

### **3.2. Método**

O avanço tecnológico de computadores e programação facilito vários cálculos que costumavam ser complexas e demorosos para projetista em varias áreas de projeto dum novo navio e na arquitetura naval, neste trabalho farão uma ferramenta indispensável que deixa possível desenhar o modelo e fazer o estudo de estabilidade obtendo os resultados desejáveis.

Aproveitando a dinâmica e a capacidade de interagir com os programas disponíveis neste ramo de engenharia, foi possível simplificar o processo de estudo estabilidade usando vários programas, no caso do desenho de geometria foi usado o SolidWorks e o Modelmaker, e o Autohydro para o estudo de estabilidade, com a utilização de Excel para realizar os diferentes outros cálculos necessários neste capítulo.

Neste trabalho foram analisados três modelos UCAP1, UCAP2 e UCAP3 que tem origem um ciclo de alterações na geometria de casco e arranjo de equipamentos dentro de Ucap. O primeiro é uma aplicação direta dos resultados de dimensionamento e conceito iniciais, que identifica a forma desejada da plataforma, e a UCAP2 é o produto das alterações geometrias na Ucap1 no processo de otimização da curva de estabilidade. Por fim, a Ucap3 será a plataforma final com a capacidade de manter a estabilidade positiva, independentemente do angulo de inclinação, e será o modelo ao qual se aplica o estudo de resistência.

Para melhor visualização e fácil alteração do modelo de Ucap é usado o SolidWorks para produzir a geometria e depois transferir as coordenadas para o Modelmaker por forma criar uma cópia de modelo compatível com o Autohydro para conseguir todas as características geométricas, dados relativos a estabilidade e diagramas de Ucap. Depois da análise dos resultados, são feitas algumas alterações na geometria no SolidWorks começando o ciclo de novo ate conseguir resultados aceitáveis.

Através da seleção adequada do material, o modelo desenhado no SolidWorks permite determinar o peso e a posição do centro de gravidade da geometria, depois numa folha de cálculo Excel podemos obter os valores de deslocamento e o centro de gravidade da Ucap, com todos os equipamentos incluídos, esses valores vão ser o input necessário para o funcionamento de o Autohydro.

Para o funcionamento do Autohydro é fundamental a criação de cópia de modelo desenhado no SolidWorks que seja compatível com o programa, por isso são transferidas as coordenadas dos pontos que definam a forma de casco para Modelmaker criando a tal geometria compatível.

As duas primeiras versões UCAP1 e UCAP2 são analisadas no Autohydro por forma ter a curva de estabilidade positiva até um angulo de perda de estabilidade usual de navios convencionais no intervalo de valores de 90 graus de inclinações transversais, os dois modelos tem uma superestrutura sem nenhum volume, para não entrar como uma reserva de estabilidade durante o estudo.

Assim a superestrutura é a parte de geometria que será alterada para criar um volume estanque, que quando a UCAP2 entrar no intervalo de estabilidade negativa este volume vai estar baixo de água deixando o centro de gravidade com uma altura elevada, este estado vai provocar um desequilíbrio que resulta na recuperação da posição de equilíbrio. Portanto as alterações da superestrutura feitas no Modelmaker e analisadas no Autohydro dão origem a Ucap3 que é a geometria final.

Neste capítulo vão ser abordadas em detalhes todas etapas do desenho, cálculos e análise de resultados, bem como as alterações feitas nos modelos. O processo é igual para Ucap1 e Ucap2 por conseguinte só serão discutidas em relação ao Ucap2 os cálculos diferentes no estudo ao Ucap1. A Ucap3 como tem superestrutura diferente será detalhada a parte.

### **3.3. Desenho do modelo no SolidWorks:**

Com as dimensões e razões obtidas no fim do dimensionamento inicial foi traduzido o conceito inicial no SolidWorks num desenho de 3D que representa a Ucap1, o qual é feito em duas partes separadas, o primeiro é o casco que foi desenhado por forma os centros de massa dos equipamentos ficarem no plano de simetria da plataforma e a segunda parte é a superestrutura que fecha o volume da geometria.

Mais adiante no estudo de estabilidade no Autohydro será usada unicamente a geometria do casco, por isso, o desenho da superestrutura para o Ucap1 e Ucap2 tem um único objetivo de determinar o peso e o centro de massa da superestrutura, por conseguinte, a altura de casco será ( $D = 45cm$ ).

Nos seguintes pontos são detalhadas consequencialmente as várias etapas importantes do desenho do Ucap1, essas etapas aplicam-se da mesma forma ao Ucap2. O desenho da superestrutura do modelo final (Ucap3) será detalhada separadamente depois de concluir o estudo de estabilidade dos dois primeiros modelos Ucap1 e 2.

### 3.4. Sistema de coordenadas:

O sistema de coordenadas que defina a posição de cada ponto da geometria do Ucap1, para as duas partes da geometria tem a origem começa 10 cm avante do plano mais ré do UCAP1 e fica no plano de simetria. Para o casco origem posiciona-se no plano do topo do modelo e para a superestrutura no plano base.

A definição do sistema de coordenada indicando a direção positiva e negativa em cada um dos planos de referência é importante para ler a posição do centro de massa de cada geometria e a seguir facilitar a determinação dos centros de massa dos equipamentos.

Para a elaboração do desenho em si, foi desenhado um conjunto de secções posicionadas longitudinalmente (z), interligadas estruturalmente. Cada um dos pontos que definam cada secção é definido por um sistema de duas coordenadas (x) e (Y), localizado no respetivo plano.

Qualquer ponto no modelo é definido por distâncias a 3 planos, a saber:

Para a superestrutura:

Abcissa (X): É a distância ao plano de simetria, distingue-se a BB ou a EB, Positiva BB e negativa a EB.

Ordenada (Z): É a distância a origem, O seu sentido designa-se a vante ou a ré da origem, positiva a vante e negativa a ré.

Altura (Y):É a distância ao plano base, positiva acima e negativa a baixo.

Para o Casco:

Abcissa (X): É a distância ao plano de simetria, distingue-se a BB ou a EB. Positiva BB e negativa a EB.

Ordenada (Z): É a distância a origem, O seu sentido designa-se a vante ou a ré da origem.

Altura (Y):É a distância ao plano do topo, positiva a cima e negativa a baixo.

### **3.5. Elaboração do desenho:**

#### **3.5.1. Casco**

O casco é dividido em 10 planos de vante para ré, espaçados entre si em distâncias diferentes, em cada um dos planos é desenhada uma secção de duas linhas espaçadas de 0.7cm que é a espessura do casco, a linha mais afastada define a intersecção da superfície exterior do casco com o plano que contém a respetiva secção, esta linha é definida por 6 pontos.

Cada secção representa o meio navio do lado BB, depois de desenhar todas, é estendido o casco entre elas e criada a simetria e depois são reajustadas varias vezes até conseguir a geometria pretendida.

O modelo é separado em dois compartimentos por uma parede interna de 0.7 cm de espessura, um compartimento a vante para baterias e componentes eletrónicos e outro a ré para a balsa salva vidas. Horizontalmente é desenhada uma base para a balsa salva vidas com a mesma espessura do casco.

Toda a estrutura do casco incluindo a posição longitudinal é horizontal das paredes internas foram feitas tendo em consideração as dimensões dos equipamentos. O **Anexo** mostra o arranjo dos equipamentos e a balsa no interior do casco de Ucap1 e Ucap 2 respetivamente.

#### **3.5.2. Superestrutura**

A superestrutura nos dois primeiros modelos é desenhada para determinar o peso e o centro de massa a partir duma linha de referência que defina a superfície exterior do casco no topo da UCAP, é desenhada por forma ser posta no topo do casco e fixada nele pelo contorno, com um astro a ré onde se pode fixar os componentes exteriores.

#### **3.5.3. Deslocamento total:**

No início, para o cálculo das dimensões iniciais foi estimado o deslocamento total de UCAP1 de forma arbitrária (100KG), mas depois do desenho de estrutura no SolidWorks foi possível determinar o peso e também o centro de massa da estrutura mais rigorosamente atribuindo um material predeterminado para cada parte, em que para o casco será a fibra de vidro e para a superestrutura a ABS. Ao consultar as propriedades da massa do corpo desenhado no SolidWorks é tirado o peso e o centro de massa do casco e da superestrutura.

Na folha de cálculo de Excel é calculado o deslocamento total do Ucap1 tab, da seguinte forma:

$$\Delta: \sum_{1}^{n=7} P_n$$

### - Sistema de coordenadas:

Ao ler as coordenadas dos centros de massa no SolidWorks, as distâncias são lidas com base sistema de referência semelhante ao do Modelmaker em termos da posição da origem que se situa no ponto de intersecção do perpendicular a ré com a linha base.

Baseando na nova posição do origem e a nova orientação do sistema de coordenadas são calculadas todas coordenadas dos centros de massa Tabela5.

#### A saber:

Abcissa (X): É a distância ao plano de simetria.

Ordenada (L): É a distância a origem, O seu sentido designa-se a vante ou a ré da origem.

Altura (K): É a distância a linha base, positiva a cima e negativa a baixo.

Centro de massa inicial				
EQUIPAMENTO	XG (cm)	YG (cm)	ZG (cm)	PESO (Kg)
CASCO	0	20,443	68	47,235
SUPERSTRUTURA	0	4,03	65	10,91
BALSA	0	11,5	38,2	28
BATRERIAS	0	10	91,7	10
COMPUTADOR	0	5	95,7	1
UNIDADE WATERJET	0	4,33	15,70	3,5

Tabela 6 – Peso e coordenadas de centro de massa dos equipamentos.

### 3.6. Cálculo de centro de gravidade

Numa folha de cálculo de Excel é então calculado o centro de gravidade final Tabela 6.

Altura do centro de gravidade VCG

$$VCG_{n+1} = VCG_n + \left( \frac{P_n * d_T}{P_{n+1} + P_n} \right)$$

Em que:

$VCG_n$  = A altura do centro de massa.

$P_n$  = Peso em KG

$d_T$  = A distância entre os centros de massa na equação.

$$d_T = VCG_{n+1} - VCG_n$$

$$n = \{0,1,2 \dots,5\}$$

$$VCG_0 = 0.20443 \text{ mm}$$

Posição longitudinal do centro de gravidade.

$$LCG_{n+1} = LCG_n + \left( \frac{P_{n+1} * d_L}{P_{n+1} + P_n} \right)$$

Em que:

$LCG_n$  = Posição longitudinal do centro de massa EM CM.

$P_n$  = Peso em KG

$d_L$  = A distância entre os centros de massa longitudinalmente.

$$d_L = LCG_{n+1} - LCG_n$$

$$n = \{0,1,2 \dots,5\}$$

$$LCG_0 = 0.680 \text{ m}$$

EQUIPAMENTO		Casco	Supere- estrutura	Balsa	Bateria s	PC	WJ	
$n$		0	1	2	3	4	5	
$P$	$P_n$	0.047	0.011	0.028	0.01	0.001	0.004	P final
	$P_{n+1} + P_n$	0.047	0.058	0.086	0.096	0.097	0.100	0.101
$VCG$	$VCG_n$	0.204	0.407	0.282	0.183	0.3	0.043	
	$d_T$	0	0.266	0.028	-0.080	0.045	-0.212	VCG final
	$VCG_{n+1}$	0.204	0.254	0.263	0.255	0.255	0.240	0.248
$LCG$	$LCG_n$	0.680	0.650	0.382	0.917	0.957	0.157	
	$d_L$	0	-0.03	-0.292	0.338	0.342	-0.461	LCG final
	$LCG_{n+1}$	0.680	0.674	0.579	0.615	0.617	0.6019	0.601

Tabela 7 – Centro de gravidade e deslocamento de Ucap1.

### 3.7. Desenho do modelo no Modelmaker:

O estudo de estabilidade no Autohydro requer um modelo geométrico da estrutura compatível, que é feito no Modelmaker. Neste programa, deve ser introduzido as coordenadas dos pontos que definam a geometria do casco, estas coordenadas são tiradas do modelo desenhado anteriormente no SolidWorks.

O sistema de coordenadas no Modelmaker tem como origem o ponto de intersecção do perpendicular a ré com a linha base, que é diferente do sistema definido para o desenho do modelo no SolidWorks, para tal, é necessário a correção das coordenadas depois de serem exportadas do SolidWorks.

O sistema de coordenadas no Modelmaker tem as seguintes características:

$PL = [m]$  = A distância longitudinal dos planos, introduzida com a referência F.

$T = [m]$  = A distância do ponto ao plano de simetria. Com sinal positivo.

$V = [m]$  = Altura do ponto. Com sinal positivo.

No desenho do solidworks é possível ler a localização longitudinal com facilidade de acordo com o sistema de coordenadas no Modelmaker, mas para as alturas e as distâncias transversais ao plano de simetria, são feitas as seguintes correções:

$$T = \frac{(-X)}{1000}$$

$$V = \frac{(D + Y)}{1000}$$

Em que:

$D = 450 [mm]$  =altura do casco.

Na ANEXO são ilustrados as coordenadas dos pontos do casco do Ucap1 obtidas pelo SolidWorks e as coordenadas que serão o Input do Modelmaker.

A base das coordenadas obtidas, é criado o modelo de Ucap1 ilustrado na figura2.



Figura 2- Modelo Ucap1 no SolidWorks.

### 3.8. Estabilidade do modelo:

O estudo de estabilidade faz-se em relação de estabilidade inicial e total. Estabilidade inicial restringe a inclinações pequenas sejam elas transversais ou longitudinais de 0 até 10 graus, aos quais se aplica a teoria metacêntrica partindo de pressuposto que o metacentro tem uma posição fixa na mesma linha de mediania que passa pelo centro de gravidade e centro de querena, quando estes dois situam-se no plano de mediania. Sabendo a posição do centro de gravidade e do centro de querena calcula-se através das relações geométricas a altura metacêntrica, e por conseguinte, o braço endireitente correspondente a cada angulo neste intervalo. Portanto podemos basear na altura metacêntrica como medida de estabilidade inicial transversal ou longitudinal em vez de braço endireitente.

Um navio com elevada estabilidade inicial e todavia virar-se sob ação de um momento inclinante que o leva a um angulo de inclinação elevado. Por isso, é posta em estudo a estabilidade total, que é para inclinações maiores que 10 graus. Usualmente faz-se apenas as inclinações transversais, neste caso o metacentro não é fixo numa posição, pois, ele altera a posição com forma o angulo de inclinação, não é então possível ter a altura metacêntrica como medida de estabilidade mas sim, o braço endireitente ou o momento endireitente. O momento endireitente para cada angulo de inclinação é conseguido através de um processo experimental, em que se aplica várias forças inclinantes a um modelo a escala do navio, com a posição de centro de gravidade ajustada pesos com por forma corresponde a posição

equivalente a geometria do navio real a mesma escala. Sabendo a amplitude e ponto de ação destas forças no modelo, é então medidas as inclinações correspondentes, e por conseguinte calculadas os momentos endireitente descrevendo a curva de estabilidade.

Para conseguir a altura metacêntrica é essencial saber a posição do centro de querena, isto é possível, já que é conhecida a altura do centro de gravidade, falta a altura do centro de querena. Sabendo o calado ou a altura da linha de água na fase do dimensionamento inicial e assumindo que não sofre caimento é possível estimar por forma não rigorosa a altura do centro de querena e o metacentro no SolidWorks. Desta forma, o estudo de estabilidade inicial é possível, mas não é rigoroso. Em relação ao estudo de estabilidade geral, a situação é mais complicada, a construção dum modelo não é alcançável nem é prático, porque assim é preciso mais do que um modelo para a realização do estudo. Com esta situação, o uso de programas disponíveis é de alta importância, visto que permite elaborar um estudo completo, economizar o tempo, facilitar o processo e obter valores mais exatos. Neste sentido é usado o programa Autohydro.

Para vários navios, as alturas metacêntricas típicas de navios semelhantes são disponíveis na literatura, dando ao projetista uma informação importante para avaliar o grau de estabilidade inicial do seu navio comparando com outros navios semelhantes. Para o tipo de navio neste trabalho USV não foi possível encontrar tal informação, como consequência, não temos referência ao qual podemos avaliar o grau de estabilidade inicial. Por outro lado, a medida de estabilidade geral é o braço endireitente ou o binário endireitente que descrevem a curva de braço endireitente ou momento endireitente, são deferentes apenas em termos de escala de apresentação da curva. Quanto mais elevado seja o braço endireitente, mais capacidade o navio tem para recuperar o estado de equilíbrio e resistência a inclinações ou por outras palavras, mais elevada a sua estabilidade geral transversal. Visto que o AUTOHYDRO permite obter a curva do braço endireitente para qualquer grau de inclinação transversal, concederei então, essa curva como a medida da estabilidade seja ela, inicial ou total.

O objetivo neste trabalho não é desenhar um modelo e calcular a curva de estabilidade mas é tentar melhorar a curva de estabilidade alterando a geometria do primeiro modelo ucap1 respeitando os outros aspetos deste estudo, Por exemplo é possível elevar os valores do braço endireitente baixando o centro de gravidade, mas isso é limitado por vários fatores, desde o posicionamento dos equipamentos, a estrutura geométrica e espessura do casco etc.

O Autodoro é um dos Softwares mais usados nos estaleiros navais e projetos de navio para o estudo de estabilidade do navio, permite calcular a curva de estabilidade, curvas hidrostáticas, características geométricas do navio e várias outras grandezas e informações a cerca de estabilidade, permite também, a simulação de vários hipóteses de estudo como a adição, tremoção e movimentação dos pesos, efeito de superfícies livres e mais.

O estudo de estabilidade neste trabalho passa por cinco passos essenciais, são os seguintes.

- 1- Calcular os braços endireitente e elaborar a curva de estabilidade até o angulo de perda de estabilidade que deve situar-se em volta dos 90 ou 100 graus.
- 2- Melhorar a geometria do modelo a base de análise da curva de estabilidade de modo elevar a estabilidade do modelo até o ponto que não podemos fazer mais alterações.
- 3- Estudar a estabilidade por forma obter a característica auto-endireitente de Ucap.
- 4- Avaliar a capacidade do modelo de operar em termos de estabilidade, nas condições ambientais requeridas para a operação de UCAP, nomeadamente o estado do mar.
- 5- Apos a definição final da geometria do modelo são produzidas então todas as curvas e grandezas que dizem respeito a estabilidade.

### 3.9. Estabilidade de Ucap1:

Depois do estudo de dimensionamento inicial foi produzido o primeiro modelo Ucap1, também determinou-se o deslocamento total e a posição do centro de gravidade incluindo todos os equipamentos a bordo. Nesta fase vamos calcular a curva de estabilidade e analisá-la, a seguir são ajustados todos os fatores possíveis de alterar para melhorar ao máximo a curva de estabilidade, o que resulta num novo modelo Ucap2.

Os dados de entrada necessários para o Autohydro são a geometria do ucap1, que foi elaborada anteriormente no Modelmaker, o deslocamento e a posição do cento de gravidade que são ilustradas na seguinte tabela.

	$\Delta(t)$	$VCG(m)$	$LCG(m)$	$TCG(m)$
UCAP1	0.101	0.248	0.602f	0
UCAP1 Sem Balsa	0.073	0.235	0.687f	0

Tabela 8 – Dados de entrada da Ucap1.

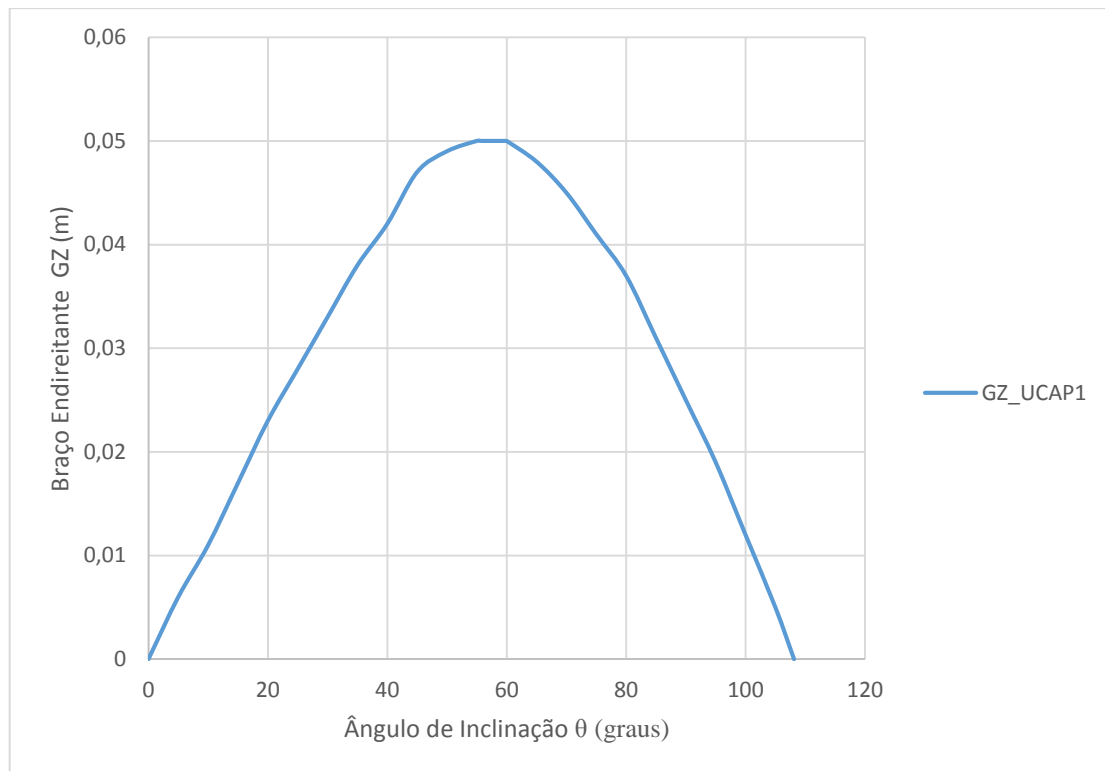
Depois de introdução dos dados, é selecionada a agua salgada, e calculado o braço endireitente correspondente a cada angulo de inclinação transversal. O foco vai ser na parte de estabilidade positiva, para que depois comparamos a estabilidade dinâmica dos modelos.

Os resultados na gama dos anglos de estabilidade positiva são apresentados na seguinte tabela:

Ucap1		
Anglo de inclinação transversal (Graus)	Anglo de caimento (Graus)	Braço endireitente (cm)
0,00	3,12a	0,000
5,00s	3,13a	0,006
10,00s	3,15a	0,011
15,00s	3,20a	0,017
20,00s	3,27a	0,023
25,00s	3,32a	0,028
30,00s	3,33a	0,033
35,00s	3,32a	0,038
40,00s	3,29a	0,042
45,00s	3,33a	0,047
50,00s	3,45a	0,049
55,00s	3,65a	0,050
55,80s	3,68a	0,050
60,00s	3,90a	0,050
65,00s	4,17a	0,048
70,00s	4,44a	0,045
75,00s	4,76a	0,041
80,00s	5,10a	0,037
85,00s	5,44a	0,031
90,00s	5,78a	0,025
95,00s	6,07a	0,019
100,00s	6,29a	0,012
105,00s	6,46a	0,005
108,13s	6,54a	0,000

Tabela 9 – Valores do Braço endireitente de Ucap1 obtidos no Autohydro.

Numa folha de cálculo Excel é então desenhada a curva de estabilidade na ucap1 apresentada no gráfico 1, partindo dos obtidos na tabela 8.



**Gráfico 1 – Curva de Braço endireitante da Ucap1.**

A curva de estabilidade de Ucap1, mostra um máximo de braço endireitante de 5cm que é a distância máxima entre a linha de ação do deslocamento e a linha de impulsão, ocorre no ângulo de inclinação transversal de 55 graus, o que significa que o ângulo de perigo é de 22,5 graus, também mostra um ângulo de perda de estabilidade de 108 graus. Ao diagrama é adicionado o efeito de vento, aplicado de bombordo com intensidade de 30 que provoca redução de estabilidade positiva, o braço máximo reduz-se de 5 para 4,1 cm ou 23 por cento de redução de estabilidade positiva ao compara as respectivas áreas abaixo da curva que representam a estabilidade dinâmica total de Ucap1 com e sem efeito do vento.

### **3.9.1. Ajustes na UCAP1:**

O gráfico anterior (Gráfico1) que dá-nos ideia da estabilidade pode ser melhorado com alguns ajustes na geometria e o arranjo geral do Ucap1. Para tal, será possível fazer a melhoria de estabilidade em dois pontos, que são, o aumento da boca e abaixamento do localização dos centros de gravidade dos equipamentos, ou seja, o aumento da boca vai ter o seu efeito em subir o centro de gravidade em relação a sua posição na Ucap1 pela concentração da massa acima da linha de água, portanto é necessário reposicionar os equipamentos mais baixo possível para reduzir o impacto do aumento da boca.

No resto das hipóteses como a redução do deslocamento e comprimento é complicado alterar, porque o deslocamento depende dos equipamentos que são predefinidos e o peso de estrutura que é limitado pelo material usado e a espessura, que foram selecionados por forma minimizar o peso e ao mesmo tempo assegurar a resistência da estrutura. O comprimento atual é o mais adequado para o arranjo e posicionamento dos equipamentos que não terá grande efeito ao comparar com o aumento da boca e para a melhoria de estabilidade deve ser reduzido, mas isto não será favorável em termos de resistência.

A primeira formula mostra que qualquer alteração numa das principais dimensões seja B, l ou o deslocamento vai ter o seu efeito nas outras, ou seja, se alteramos B, vamos ter de determinar a margem de alteração pelo menos numa das outras partes da equação l, t ou peso. É desejado manter o comprimento inicial e o deslocamento o mínimo possível que é limitado ao peso de estrutura e a sua geometria juntamente como o calado T.

A melhoria do diagrama de estabilidade obriga ter a noção como deveria ser a estabilidade de ucap1 para saber os ajustes que devem ser feitos. Mas isto é longe de saber por falta dos estudos que dão uma ideia ao comportamento de embarcações semelhantes e permitem comparar e avaliar a grau de estabilidade obtido de Ucap1.

A estimação de grau de ajusto na boca depende do modo de operação da Ucap e dos intervalos das dimensões predeterminados no início do trabalho. Por outras palavras, o aumento do B será possível até o valor de deixa de fazer sentido aumentar mais, porque vai afetar a operação da Ucap noutros aspetos. Neste sentido deve se-saber que a largura da boca é relacionada com a largura da balsa, portanto, aumento da boca mais do que 5 cm no máximo, não é adequado ao lançamento e posicionamento da balsa, além de aumentar o efeito de superfície livres com a maior largura do compartimento da balsa com a possível entrada d'água.

Portanto, os ajustes ao Ucap1 serão o aumento da boca para 60cm e rearranjo da estrutura no solidworks dando origem ao Ucap2.

### **3.10. Estabilidade de ucap2**

Depois do aumento da boca, o novo modelo Ucap2 tem os seguintes dimensões:

$$L_{PP} = 1.7 \text{ m}$$

$$B = 0,60 \text{ m}$$

$$D = 0.45 \text{ m}$$

$$T = 0.25 \text{ m}$$

Partindo destas dimensões é desenhado o novo modelo Ucap2 no solidworks para conseguir a definição de perfil de casco e o peso e centro de gravidade sem equipamentos.

EQUIPAMENTO		Casco	Supere-estrutura	Balsa	Baterias	Computador	WJ	
$n$		0	1	2	3	4	5	
$P$	$P_n$	0.053	0.011	0.028	0.01	0.001	0.004	P final
	$P_{n+1} + P_n$	0.053	0.063	0.091	0.101	0.102	0.106	0.106
$VCG$	$VCG_n$	0.227	0.470	0.282	0.162	0.272	0.043	
	$d_T$	0	0.242	0.013	-0.111	0.010	-0.219	VCG final
	$VCG_{n+1}$	0.227	0.269	0.273	0.262	0.262	0.255	0.255
$LCG$	$LCG_n$	0.620	0.678	0.382	0.905	1.105	0.157	
	$d_L$	0	0.057	-0.248	0.351	0.516	-0.437	LCG final
	$LCG_{n+1}$	0.620	0.630	0.554	0.589	0.594	0.579	0.579

Tabela 10 – Deslocamento total e centro de gravidade de Ucap2.

O deslocamento total e o centro de gravidade final de Ucap2 são calculados da mesma forma como a Ucap 1, onde é mostrado na tabela 9.

A seguir são calculadas as razões geométricas correspondentes a Ucap2, os quais se encontram dentro de intervalo das razões estabelecidas no dimensionamento inicial e são ilustradas na seguinte tabela:

	UCAP2	INTERVALO
$\nabla [m^3]$	0.103	-
M	3.592	[3.42 – 5.151]
$K_B$	2.667	[1.50 – 5.446]
$C_B$	0.462	[0.108 – 0.497]
T/D	0.5	0.5

Tabela 11 – Intervalo dos coeficientes de Ucap 2 com os resultados do dimensionamento inicial.

Para o Ucap2 é seguido o mesmo processo aplicado na produção do diagrama de estabilidade de ucap1. Assim, é desenhado o modelo da ucap2 no Modelmaker a partir das coordenadas dos pontos que definam a geometria de casco do ucap1 obtidas no solidworks.

Os dados de entrada do Autohydro para Ucap2 são:

	$\Delta(t)$	$VCG(m)$	$LCG(m)$	$TCG(m)$
UCAP2	0.106	0.255	0.579f	0
UCAP2 Sem Balsa	0.078	0.245	0.650f	0

Tabela 12 – Dados de entrada de Ucap2 com deslocamento total com e sem balsa.

Analisando a Ucap2 no Autohydro obtemos os resultados de gama dos angulos de estabilidade positiva apresentados na seguinte tabela:

UCAP1		
Angulo de inclinação transversal (Graus)	Angulo de caimento (Graus)	Braço endireitante (cm)
0,00	1,34a	0,000
5,00s	1,35a	0,008
10,00s	1,40a	0,016
15,00s	1,51a	0,025
20,00s	1,63a	0,033
25,00s	1,70a	0,040
30,00s	1,74a	0,046
35,00s	1,76a	0,052
40,00s	1,79a	0,057
45,00s	1,94a	0,061
49,80s	2,16a	0,062
50,00s	2,17a	0,062
55,00s	2,44a	0,061
60,00s	2,78a	0,058
65,00s	3,14a	0,054
70,00s	3,50a	0,049
75,00s	3,93a	0,044
80,00s	4,34a	0,037
85,00s	4,77a	0,030
90,00s	5,19a	0,022
95,00s	5,56a	0,013
100,00s	5,87a	0,004
102,50s	6,01a	0,000

Tabela 13 – Valores de braço endireitante de Ucap2 no intervalo de estabilidade positiva.

No Excel são elaboradas as curvas de estabilidade de Ucap2. Figura 3:

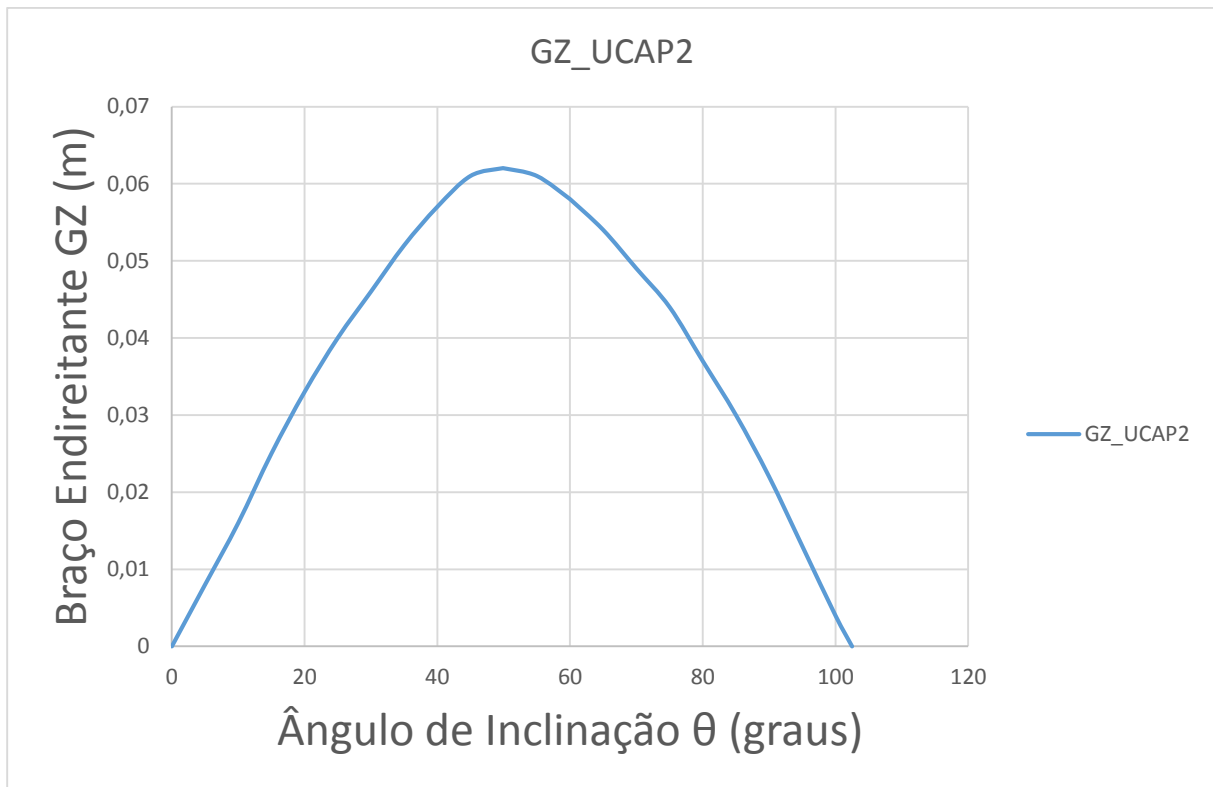


Gráfico 2 – Curva do Braço endireitante da Ucap2.

### 3.11 Comparação dos resultados da Ucap1 e Ucap2

Após a estimação dos parâmetros da plataforma no dimensionamento inicial foi desenhado posto a análise de estabilidade o primeiro modelo Ucap1. Depois, por objetivo de melhorar a estabilidade foi produzido o segundo modelo Ucap2 e analisada a sua estabilidade do mesmo método.

Neste ponto é feita a comparação de estabilidade dos dois modelos. A estabilidade inicial, em que a medida é altura metacêntrica, e a estabilidade total, comparando as duas curvas de estabilidade de Ucap1 e Ucap2.

### 3.11.1 Estabilidade inicial

Nos anexos 5 e 4 são ilustrados os parâmetros geométricos e hidrostáticos do ucap1 e ucap2 respectivamente, dentro dos quais se tira valores da altura metacêntrica dos dois modelos. Claramente a UCAP2 tem melhor estabilidade inicial transversal, porque tem maior altura metacêntrica, como mostra a seguinte tabela:

Altura metacêntrica transversal	UCAP1	UCAP2
KMT (m)	0.314	0.347

Tabela 14 – Dados de entrada de Ucap2 com deslocamento total com e sem balsa.

### 3.11. Estabilidade geral

Para efeitos de comparação de estabilidade geral, são produzidas as duas curvas de ucap1 e 2 no mesmo digrama e calculada a área por baixo de cada curva que representa a estabilidade dinâmica depois de ser multiplicada pelo respectivo deslocamento. As duas curvas correspondem ao deslocamento total inicial com todos os equipamentos incluídos, sem entrar em conta com o efeito do vento.

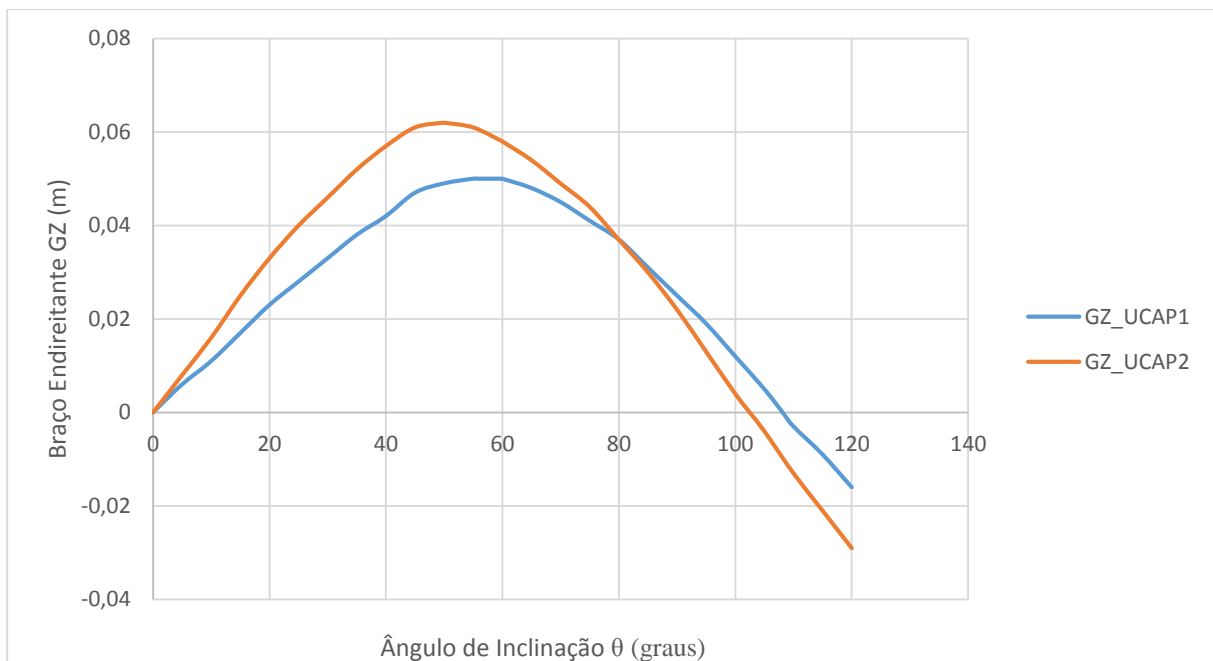


Gráfico 3 – Comparação das curvas de estabilidade de Ucap1 e Ucap2.

A estabilidade dinâmica total é representada pela área baixo da curva de momentos endireitente que é calculada multiplicando os braços endireitente pelo deslocamento. O trabalho que representa a estabilidade dinâmica, é a multiplicação do momento endireitente e o angulo de inclinação transversal.

$$W (t. m) = \nabla \cdot \int_{\theta=0}^{\theta=\text{Ângulo de perda de estabilidade}} GZ \cdot d\theta$$

Assim, para compara a estabilidade geral dos dois modelos podemos calcular a área baixo da curva dos braço endireitente e depois multiplicar pelo respetivo deslocamento, visto que o deslocamento é constante. A área é calculada por aproximação, até o angulo de perda de estabilidade para as duas plataformas.

A estabilidade dinâmica aproximada é representada por W, Para os dois modelo abaixo, o que mostra claramente, que a Ucap 2 tem melhor estabilidade geral comparada com a Ucap1.

	UCAP1	UCAP2
W (t.m)	0.331	0.409

Tabela 15 – Estabilidade dinâmica de Ucap1 e Ucap2.

Não só a estabilidade dinâmica que indica a melhoria da estabilidade através as alterações geométricas de Ucap1 para Ucap2. Também os elevados braços endireitente de Ucap2, até os 80 graus de inclinação. Depois, acontece o contrário, o que não tem relevância aqui pelo que a plataforma final terá estabilidade positiva até os 180 graus.

### 3.12. Estabilidade de Ucap 3

Anteriormente Foi elaborado o estudo de estabilidade e a otimização da curva de braço endireitente com os ajustes da geometria da plataforma resultando no Ucap2. Partindo deste último modelo é então realizado o próximo passo no trabalho, que tem como objetivo, conseguir que a plataforma final ucap3 ter a característica auto-endireitante.

Assim, a ucap3 terá a capacidade de voltar a posição inicial de equilibrio logo apos a remoção das ações inclinantes, em qualquer angulo de inclinação transversal. Para tal, é dimensionada a superestrutura de Ucap2 em forma de volume estanque, que será o volume de querena no caso de estabilidade negativa, por outras palavras, este volume terá que ser

suficientemente grande para que, quando a plataforma virar-se, ela não ficara em estado de equilíbrio, visto que o centro de gravidade e muito alto.

O objetivo é conseguir a curva de estabilidade sem perda de estabilidade, Portanto a curva terá unicamente a gama de estabilidade positiva de 0 até 180 graus de inclinação. Para determinar a geometria da superestrutura desejada, é ajustado o modelo desenhado no Modelmaker correspondente a Ucap2 e depois analisado no Autohydro, em que os dados de entrada relativos ao deslocamento e a posição do centro de gravidade de ucap3 assumidos neste processo serão os mesmos dados da Ucap2. Depois de conseguir a curva de estabilidade positiva na toda gama de ângulos de inclinação até 180 graus, é então elaborado o desenho no SolidWorks para determinar o deslocamento e o centro de gravidade da plataforma que vão ser os novos dados de entrada, para analisar novamente a estabilidade de Ucap3.

O esquema na figura, ilustra as etapas do método seguido ciclicamente. Varias curvas forma produzidas de acordo com as alterações geométricas feitas Modelmaker, aqui são mostradas três curvas, a primeira corresponde a um modelo com estabilidade não toda positiva, a segunda é do modelo final no Modelmaker com os dados de entrada da ucap2 e a outra com os dados de Ucap3 na iteração final do ciclo.

### 3.12.1. Curva de estabilidade Ucap3

Em primeiro foi alterada a geometria de ucap2 tendo em conta a estética da plataforma, depois é produzida a curva de estabilidade correspondente no Autohydro usando os seguintes dados de entrada de ucap2:

	$\Delta(t)$	$VCG(m)$	$LCG(m)$	$TCG(m)$
UCAP2	0.106	0.255	0.579f	0

Tabela 16 – Dados de entrada de Ucap2.

De acordo com os resultados apresentados no Autohydro pela curva de estabilidade é adicionando mais volume ou não a superestrutura de ucap2, até o ponto de conseguir a curva de estabilidade completamente positiva.

O modelo final com estabilidade sempre positiva é ilustrado na figura 21. A curva de estabilidade deste modelo é mostrada no Gráfico 4.

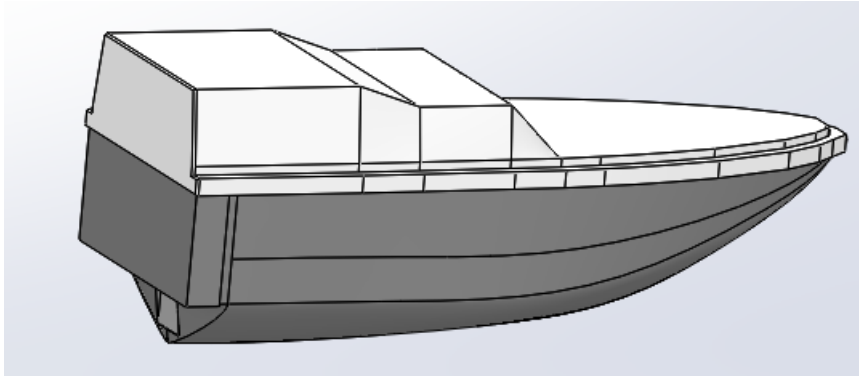


Figura 3 – Modelo final de Ucap (ucap3).

O modelo resultado no Modelmaker com estabilidade positiva é a base da geometria elaborada da Ucap3 no SolidWorks, atreves das coordenadas da superestrutura mostrados. Logo é calculada a curva de estabilidade novamente, mas nesta vez com os dados de entrada calculados no passo anterior, resumidas como o seguinte:

No desenho da superestrutura de Ucap3 no SolidWorks, procurou-se manter o sue peso próximo ao peso da superestrutura da Ucap2. Assim é possível calcular o deslocamento total e o centro de gravidade da ucap3.

	$\Delta(t)$	$VCG(m)$	$LCG(m)$	$TCG(m)$
UCAP3	0.106	0.255	0.579f	0
UCAP3 Sem Balsa	0.078	0.245	0.650f	0

Tabela 17 – Deslocamento com e sem balsa da Ucap3.

A seguir é calculada a curva de braço endireitente mostrada no gráfico A curva mostra que a ucap3 terá estabilidade positiva, e será capaz de voltar a posição de equilíbrio estável partir de qualquer anglo de inclinação provocada pelas forças exteriores.

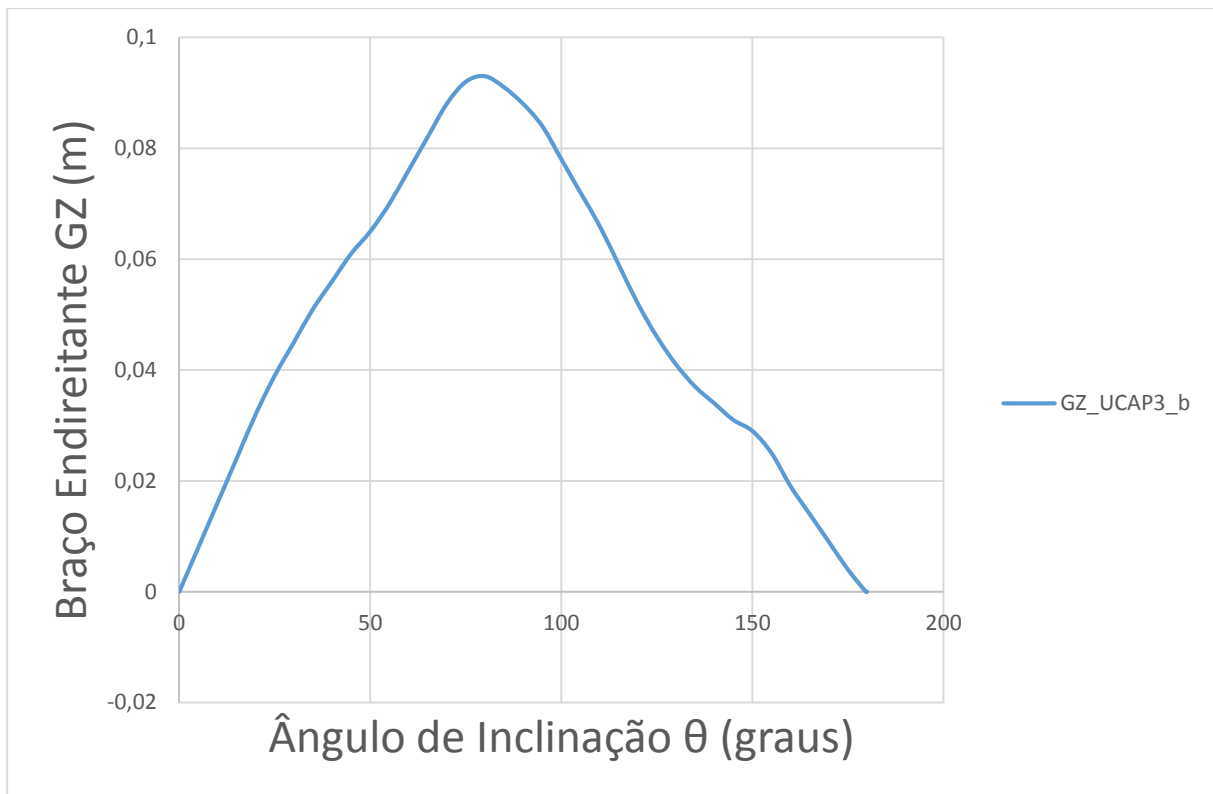


Gráfico 4 – Dados de entrada de Ucap2.



## Referências bibliográficas

LEWIS, E, *Principles of Naval Architecture*. Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989.

THE SNAME. (1939). *Principles of Naval Architecture (Vol. I)*. (H. E. ROSSELL, & L. B. CHAPMAN, Edits.) New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

ROGÉRIO D'OLIVEIRA, Capitão-de-Fragata Engenheiro de Construção Naval. *Elementos de Arquitectura Naval vol.1*, Escola Naval, Serviço de Publicações Escolares, 2004.

RAWSON, K., & TUPPER, E. *Basic Ship Theory vol.1*, Fifth Edition, England, Butterworth-Heinemann, 2001.

\_\_\_\_\_. *Basic Ship Theory vol.2*. Fifth Edition, England, Butterworth-Heinemann, 2001.

GILLMER, T. C. (1972). *Modern Ship Design*. Annapolis, Maryland, Estados Unidos da América: United States Naval Institute.

IMO. (1993). *Critérios de Estabilidade*. United Kingdom: International Maritime Organization.

NES 109 CATEGORY 1. (2000) *Stability Standards For Surface Ships*. Sea Technology.

ITIDINAV 802. (1996). *Critérios de Estabilidade das UN'S e UAM'S da MARINHA PORTUGUESA*. Portugal, Direção De Navios.

<http://www.fp7-icarus.eu/> ( consultado a 16-06-2014 ).