



25º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore

Rio de Janeiro, 10 a 12 de Novembro de 2014

Projeto de Análise da Viabilidade Técnica de uma Embarcação do Tipo SWATH para Apoio a Manutenção e Inspeção Submarina

Richard D. Schachter e Vinícius V. Melo
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo:

O presente artigo analisa tecnicamente uma alternativa inovadora de embarcação para apoio a exploração de petróleo e gás na região da Bacia de Santos, através da apresentação do projeto conceitual de um navio de dimensões reduzidas para evitar congestionamento de linhas, com cerca de 30 metros de comprimento, do tipo SWATH (*Small Waterplane Area Twin Hull*), para suporte a inspeção e manutenção de estruturas e equipamentos submersos através do mergulho raso, mergulho saturado e operação de ROVs (*Remotely Operated Vehicles*).

As vantagens e desvantagens inerentes a este tipo peculiar de multicasco são julgadas através dos dados recorrentes de cada etapa do projeto conceitual de um navio RSV (*ROV Support Vessel*) com velocidade de 16 nós, onde o objetivo é demonstrar que a embarcação específica com essas características, onde se destacam uma maior estabilidade transversal e um melhor comportamento em ondas, seja atraente e viável para operação na região de Bacia de Santos, provando sua eficácia em relação a monocascos e catamarans, comumente utilizados para esta finalidade.

A forma do casco foi otimizada utilizando-se o método de Michell, incluindo diferentes alternativas de forma e estudando a influência da distância entre cascos. Os sistemas propulsivo e de posicionamento dinâmico foram selecionados. Sua estrutura foi dimensionada em alumínio (ABS – *High Speed Craft*), além de projetados seu arranjo geral e calculados o peso leve e a estabilidade.

1 – Introdução

RSV, abreviação de “ROV Support Vessel”, é uma embarcação de apoio *offshore*, cujo objetivo principal é prestar assistência a qualquer tipo de atividade submarina realizando instalação, inspeção e manutenção de qualquer aparato submerso. Para tal, este tipo de embarcação possui infra-estrutura que permite a operação de ROVs (do inglês, *Remotely Operated Vehicle*) e, em alguns casos, atividade de mergulho raso e saturado; além de grande área de convés livre, para a operação e movimentação de equipamentos. ROV é um robô submarino não tripulado, operado remotamente por uma pessoa a bordo da embarcação de apoio (RSV). Este veículo possui propulsão própria e é

conectado à embarcação de apoio via cabos umbilicais que têm o objetivo de levar eletricidade ao ROV e trocar comandos e informações entre o operador e o equipamento. O ROV tem como principal objetivo realizar e supervisionar a montagem de equipamentos em profundidades não alcançadas por mergulhadores, além da inspeção visual de equipamentos e estruturas. Este equipamento pode ser dividido em duas categorias principais: ROV de observação, utilizado para verificar vazamentos, fissuras em estruturas submersas e ROV do tipo “work class”, que conta com braços mecânicos para realizar trabalhos de instalação e manutenção submersa.

Atualmente os RSVs mais comuns

existentes no mercado possuem dimensões que podem variar de 70m a 130m para o comprimento e 16m a 28m para a boca moldada. O presente trabalho trará discussões sobre aspectos positivos e negativos observados numa embarcação de 30,6 m de comprimento, que visa realizar as principais atividades de um RSV de médio porte. Esta pequena dimensão foi um requisito da Petrobras para evitar congestionamentos de linhas.

Entre as principais características de um RSV encontram-se:

- 1) Capacidade de manter posicionamento dinâmico (*stationkeeping*);
- 2) Capacidade de operar ROVs a 2.000m de profundidade da lâmina d'água;
- 3) Operar a uma velocidade de 16kt;
- 4) Autonomia de combustível em torno de 30 dias;
- 5) Ser dotada de "moon-pool";
- 6) Fornecer estrutura para o mergulho autônomo (mergulhador levando o equipamento) e mergulho saturado (sistema completo de mergulho saturado, com câmara hiperbárica e sino de mergulho);
- 7) Dispor de oficinas (elétrica e mecânica) capacitadas para realizar pequenos serviços (usinagem, soldagem, manutenção etc.);
- 8) Possuir guindastes e guinchos que permitam a operação da embarcação;
- 9) Área livre de convés de acordo com o escopo de operação da embarcação;
- 10) Possuir barco(s) de apoio à operação.

Para poder viabilizar o cumprimento destas tarefas para uma embarcação tão pequena, em pesquisa realizada, sendo esta última com financiamento da **ANP** e a **PETROBRAS**, foram imaginados três tipos de casco: monocasco, catamaran e SWATH. As duas primeiras foram projetadas por De Mello (2013) e Schachter et al (2012). As embarcações tornaram-se viáveis, mas como era de se esperar, para este tamanho o monocasco tinha estabilidade crítica e o catamaran, um comportamento em ondas um pouco limitante. Este artigo mostra o início do projeto da concepção SWATH como RSV, aparentemente promissora, onde se espera ter melhor estabilidade, comportamento em ondas e área de convés, e, quando projetado se verão quais serão suas vantagens e desvantagens. Neste artigo se avalia a otimização da forma do casco para o mesmo tamanho e deslocamento dos anteriores, em função de resistência ao avanço (com diversas variações sistemáticas) e o *stationkeeping*. Como o comportamento em

ondas esperado deve ser muito bom (pela natureza intrínseca a geometria da forma SWATH) e semelhante em todos os cascos, não foi considerado nesta fase inicial de projeto.

2. O conceito do navio SWATH

O SWATH (*Small Waterplane Area Twin Hull*) é uma embarcação de alto desempenho caracterizada pela sua pequena área de linha d'água no plano de flutuação, com uma proposta de casco para serviço em condições severas de mar.

A peculiaridade na geometria do SWATH é dada por seus corpos submersos em forma de torpedos (*pontoons*), conectados por suportes individuais ou duplos com a plataforma superior, os chamados *struts*. A grande vantagem dessa tecnologia se dá em seu comportamento em ondas quando comparada com embarcações convencionais em mares agitados.

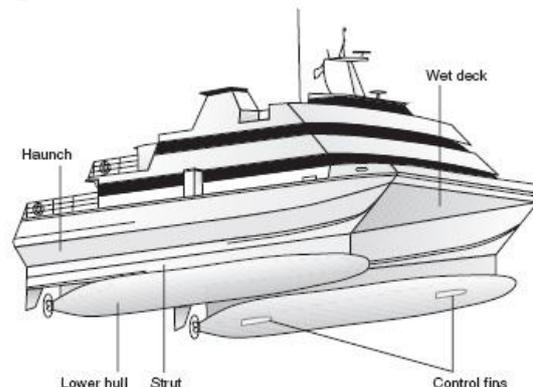


Figura 1 - Nomenclatura básica

3. Seleção das formas submersas

Para se chegar à forma definitiva das obras vivas do navio SWATH RSV, modelou-se quatro formas padrões, mudando-se basicamente a geometria dos *pontoons*, levando em consideração as formas mais presentes em operação. O fator determinante para escolha da forma ideal neste projeto é o cálculo da resistência ao avanço total sobre cada modelo.

3.1 – Dimensões principais

Para obtenção das características principais do casco do SWATH RSV utilizou-se dois estudos:

- *Regressão linear de navios semelhantes*, consistindo na criação de um banco de dados formado pelas características principais de navios que apresentam forma e tamanhos que se assemelham ao preterido no projeto, sendo de grande ajuda o conhecimento da geometria

dos SWATHs mais famosos e testados, além de navios RSVs em geral.

- Michalski (2007), que leva em consideração mais de 80 embarcações do tipo SWATH para investigar relações estatísticas entre os principais parâmetros da forma do casco.

Utilizando as duas ferramentas de estudo acima e uma estimativa inicial coerente de deslocamento, como *input* do método iterativo do processo de projeto, foi possível obter as dimensões principais do SWATH RSV para cada forma modelada.

Para que fosse definido o calado e diâmetros de cada forma no *software FreeShip*, foi necessário determinar um deslocamento para a embarcação, para que fosse satisfeito um determinado volume deslocado de água por todas geometrias projetadas para estudo.

Entretanto, como a definição da forma preliminar se encontra no início do projeto, neste estágio ainda não se possui definido o deslocamento da embarcação. Sabendo-se que uma das principais características do projeto do navio é a interatividade do processo de projeto, de início estimou-se um deslocamento baseado em RSVs monocascos e catamarans (sabe-se que navios do mesmo tipo, SWATHs são em geral mais pesados que monocascos e catamarans, de acordo com Lamb (2003), 25 a 30%). Estimativa que se confirmou analisando De Mello (2013) e Schachter et al (2012). Os resultados apresentados aqui já remetem ao deslocamento final, de 300 toneladas.

O *air gap* de qualquer embarcação multicasco é a medida vertical entre o calado e o chamado *wet deck*. É a folga vertical que existe com o intuito de evitar que as ondas batam no fundo do *deck box*, evitando impactos das ondas, a fadiga da estrutura, vibração e desconforto aos tripulantes.

Sabendo que a região da Baía de Santos abrange o *Sea State Code 4*, da *World Meteorological Organization* correspondente a medida de 1,875 metros de altura significativa de onda para o cálculo do *air gap*. Como pode-se conferir na Figura 2 que o *air gap* foi dimensionado como metade da altura significativa de onda, ou seja, a amplitude da mesma, somada a um valor δ de segurança, resultando em um *air gap* de 2,0 metros.

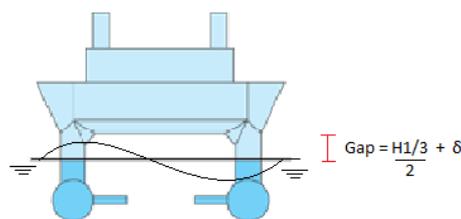


Figura 2 - Air gap

Averiguando-se os dados oceanográficos da Baía de Santos no ano 2006, nos três piores meses do ano a chance de haver ondas que cheguem até o *deck box* é de menos de 5%.

A seguir as dimensões principais da forma final:

Tabela 1- Características principais

| Dimensões Principais | |
|--------------------------------------|---------|
| Deslocamento | 300 ton |
| Velocidade | 16 nós |
| Comprimento total | 30,2 m |
| Boca total | 17,5 |
| <i>Air Gap</i> | 2,0 m |
| Calado | 4,89 m |
| Diâmetro máximo do <i>pontoon</i> | 2,70 m |
| Quantidade de <i>struts/pontoons</i> | 2 |
| Comprimento do <i>strut</i> | 6,2 m |
| Coeficiente de bloco | 0,52 |
| Altura do <i>wet deck</i> | 6,89 m |

3.2 – Formas-base de projeto

A natureza da geometria de um casco SWATH permite que haja diversas formas de *pontoons* e arranjos de *struts*. Uma das grandes diferenças entre SWATHs em geral é quanto a disposição dos *struts*: um *strut* por *pontoon* (*single strut*) ou dois a cada *pontoon* (*tandem strut*). Para as dimensões do SWATH RSV, segundo seus estudos é mais indicado a utilização de um arranjo com dois *struts* em cada *pontoon*, o que representa ganhos significativos em seakeeping em troca de uma perda de inércia do plano de linha d'água.

Cada *strut* foi projetado com seções de perfis hidrodinâmicos, espaçados em cerca 1/5 do comprimento do torpedo, ou seja, cerca de 6.2 metros entre si. Em SWATHs é comum que se projete separadamente *struts* e *pontoons*.

A distância vertical entre o calado e o torpedo foi tida através de análise de embarcações semelhantes, o que culminou na medida de cerca de 60% do diâmetro máximo do *pontoon*, ou seja, 1,60 metros.

Todos os SWATHs tem como característica os seus *pontoons* em formato de torpedo com

seções circulares ou elípticas (normalmente utilizado quando em determinado projeto há a necessidade de reduzir o calado mantendo o mesmo deslocamento), com corpo de vante e *struts* afinados para que o mesmos “cortem” a água e não a desloquem.

A seguir são apresentadas algumas formas projetadas, devidamente carenadas, modeladas levando-se em consideração uma ampla pesquisa entre as formas de torpedos mais utilizadas entre os navios SWATH existentes no mundo, que resultou nas formas abaixo:

-Forma 1, seção constante ao longo do comprimento do *pontoon*;

-Forma 2, forma afunilada na região da meia nau;

-Forma 3, forma afunilada na região de meia nau, com comprimento menor da parte afunilada;

-Forma 4, seção constante até cerca de metade comprimento, e aumento do diâmetro do *pontoon* a partir da meia nau.

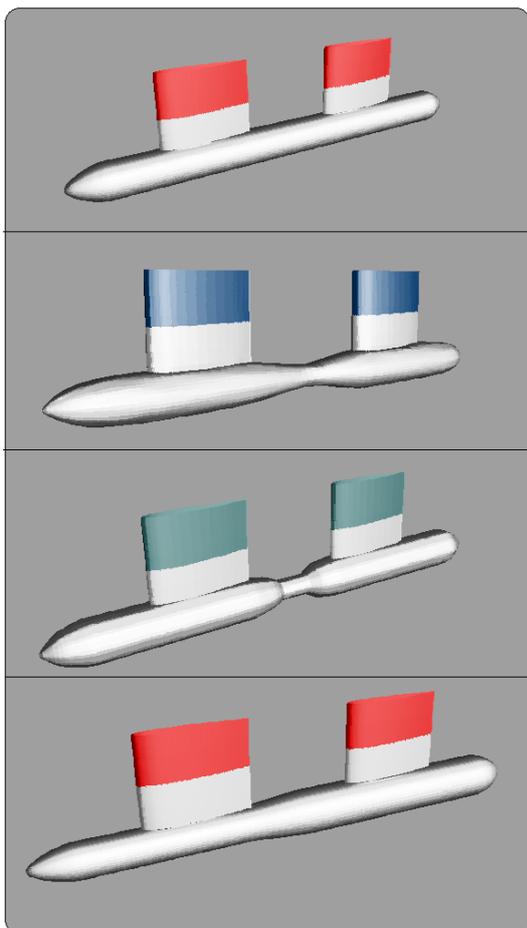


Figura 3 - Formas 1,2, 3 e 4, respectivamente

4. Resistência ao avanço

A resistência ao avanço de um navio (R_t) nada mais é do que a composição de todos os componentes das forças que se opõem ao movimento do mesmo a uma dada velocidade de projeto no sentido contrário ao do movimento da embarcação. Com sua estimativa é possível determinar qual é o devido sistema propulsivo a ser instalado. A quantificação dessa força é realizada através de tanques de prova, se os custos permitirem. Entretanto, *softwares* vêm evoluindo através de cálculos baseados em hidrodinâmica aplicada ao navio, onde seu uso se dá em projetos conceituais e básicos de embarcações.

Como uma das características do navio SWATH é apresentar uma grande parcela resistência de atrito devido à grande área molhada, um potente sistema propulsivo poderá ser requerido. Entretanto, ele deverá ser dimensionado para dentro dos limites do casco (muitas vezes insuficiente) e esse é um dos grandes problemas de projeto do SWATH. Por este motivo, no método de projeto utilizado, a definição da forma será dada nesta seção, sendo o casco definitivo aquele que apresentar a menor resistência total ao avanço.

4.1 –Método de cálculo da R_t

A abordagem utilizada para a estimativa da resistência ao avanço do SWATH RSV é dada através de análise numérica, que consiste em métodos numéricos onde um modelo é dividido em malhas ou em painéis de modo que as equações a serem utilizadas pelo método possam ser aplicadas em cada extremidade da malha, ou em cada painel a fim de obter uma convergência final do resultado após diversas iterações.

De acordo com estudos de Schachter e Seabra (2012), o *software* Michlet pode ser considerado um boa ferramenta para uma predição consistente da resistência total ao avanço em navios que atendam ao requisitos do *software*, desde que os dados de entrada estejam devidamente calibrados.

O programa é capaz de quantificar a resistência adicional causada pela interferência entre as ondas geradas por cada casco. O método utilizado pelo *software* consiste na conjunção de dois outros métodos: a estimativa da resistência viscosa através método ITTC-1957 baseado na estimativa de resistência de placas planas atrelado a um fator de forma da embarcação; e a estimativa da resistência de ondas através da análise potencial (utilizando o método dos painéis -

fonte-sumidouro) utilizando o campo de pressões distante do casco (análise *far field*) considerando a teoria de casco esbelto de Michell.

Para utilização do *software* é recomendado que as embarcações devam possuir uma relação de boca sobre comprimento submerso de pelo menos 1/5 e que possuam um baixo coeficiente de bloco (ambas facilmente atingidas pelo navio em projeto). Além disso, é necessário que o usuário do programa conheça dados da embarcação como fator de forma de resistência viscosa; fator de forma de resistência de ondas e evolução do trim dinâmico; evolução do calado conforme variação da velocidade da embarcação.

1 – Viscosidade cinemática da água: para águas brasileiras, $1,22 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, a 15°C ;

2 – Fator de forma de resistência viscosa: de grande influência sobre a resistência total ao avanço, já que a estimativa da resistência viscosa se baseia no método da resistência de placa plana associada ao valor deste fator de forma. Para estimar este fator utilizou-se Holtrop (1984), onde Schachter e Seabra (2012) provaram ser uma boa aproximação:

$$1+k = 0,93 + \frac{0,487118 C_{14} (B/L)^{1,06806} (T/L)^{0,46106} (L/Lr)^{0,121563} (L^3/\nabla)^{0,36486} (1-C_p)^{-0,60425}}{(1)} \quad (1)$$

Onde:

$$L_R = L(1 - C_p + 0,06 C_p L_{CB}/4 C_p - 1) \quad (2)$$

$$C_{14} = 1 + 0,011 C_{stern};$$

$$C_{stern} = 0;$$

Desta maneira determinou-se o fator de forma de resistência viscosa para cada forma.

Tabela 2 - fator de forma de resistência viscosa

| 1+k_visc | |
|----------|------|
| Forma 1 | 1,51 |
| Forma 2 | 1,35 |
| Forma 3 | 1,45 |
| Forma 4 | 1,42 |

3 – Fator de forma de resistência de ondas: amplifica a componente de resistência de onda, afetando assim com maior significância os valores de resistência para altas velocidades, onde a geração de ondas será maior. Segundo os autores do Michlet, Lazaukas e Tuck (2005), recomenda-se não alterar o valor deste fator, sem uma justificativa. A falta de uma série sistemática de casco SWATH impossibilita a calibragem

deste valor, como o navio não estará se movendo a altas velocidades, este fator não foi alterado.

4 – Evolução do trim dinâmico: zero para navios de deslocamento, como o aqui projetado.

4.2 – Distância ideal entre os cascos

Utilizaram-se os cálculos de resistência a através do *software* Michlet para determinar uma distância ideal entre os cascos, estudando os efeitos dessa distância na conjunção da resistência ao avanço total da embarcação.

É de conhecimento geral que em navios multicasco há interferência das ondas geradas por cada casco, aumentando a resistência de onda e, conseqüentemente, a resistência total ao avanço. Quanto maior a distância entre os cascos, menor é essa interferência e maior é o momento de inércia do plano de flutuação. Entretanto, o aumento decorrente da distância entre os cascos aumenta gradativamente o peso estrutural da embarcação. Além disso tudo, deve-se haver espaço suficiente para operação no moon-pool instalado na região de meia-nau, alinhado na linha de centro.

O estudo da distância ideal entre os cascos busca um valor que traz equilíbrio em todos os fatores de projeto envolvidos.

De acordo com os estudos de Lord Kelvin (Van Manen e Van Oossanen, 1988), um trem de ondas de uma embarcação apresenta uma característica única quanto ao ângulo formado pela linha reta que define a região onde os sistemas de ondas transversais e divergentes, gerados pela embarcação se combinam a fim de formarem um único sistema de ondas característico. Por concentrar os efeitos das ondas geradas pelo movimento do casco sobre a superfície da água, é dentro desta região, visualizada abaixo, que devem ser estudados a interferência do trem de ondas sobre a resistência final do casco em projeto.

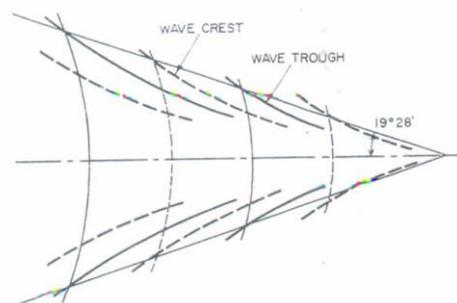


Figura 4 - Trem de ondas

Através do ângulo de Kelvin é possível verificar para o SWATH que o ideal seria que

os trens de ondas dos dois cascos nunca se encontrassem, ou seja, que um trem de ondas de um casco nunca interferisse no trem de ondas gerado pelo outro casco. Entretanto, isto é impossível, pois só uma distância infinita entre os cascos proporcionaria tal efeito, assim, é razoável a premissa de que se o ponto de encontro entre os trens de ondas ocorre na região final da embarcação, a interferência que as ondas de um casco gerariam na resistência do outro casco já seria reduzida consideravelmente, uma vez que a onda gerada por um dos cascos nunca chegaria ao casco gêmeo. Portanto, a base para o estudo da distância entre os cascos será o ponto onde os trens de onda se encontram no final da embarcação, conforme se pode conferir na esquematização abaixo:

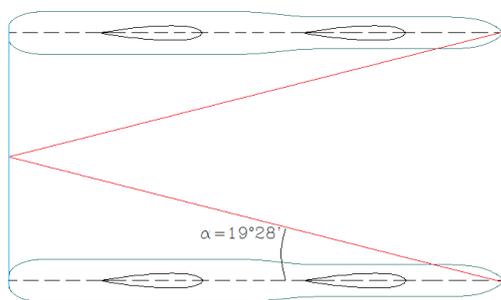


Figura 5 - Ângulo de Kelvin

A distância entre os cascos correspondente a Figura 5 é de 21,86 metros, valor que acaba por se tornar inviável pela quantidade de peso estrutural que será demandada para o navio com boca total nessas condições.

Analisou-se a resistência de ondas para a distância dada pelo ângulo de Kelvin, para valores apresentados em multicascos semelhantes e também algumas variações, para que sua influência na R_t possa ser estudada:

Tabela 3 - R_w para cada distância entre cascos

| D_c (m) | R_w (KN) | ΔR_w - Kelvin (%) |
|-----------|------------|---------------------------|
| 12,1 | 49,08 | 8,68 |
| 12,7 | 48,23 | 6,8 |
| 13 | 48,22 | 6,78 |
| 15 | 46,93 | 3,92 |
| 17 | 45,71 | 1,23 |
| 19,2 | 45,41 | 0,57 |
| 21,81 | 45,16 | 0 |

Sabendo que a menor R_t possível, na distância de 21,81 metros não é adequado por aumentar muito o peso total da embarcação devido a uma excessiva boca total em relação ao seu comprimento, o estudo acima mostra que até 15 metros o aumento da R_w pode ser considerado aceitável. Em Schachter e Seabra (2012), o catamaran com 15 metros de distância entre os cascos opera ROVs sem problemas com um moon-pool central, além disso é feito um estudo da diferença estrutural entre o peso estrutural desta distância e da definida pelo ângulo de Kelvin, se mostrando consideravelmente grande.

Dessa forma, utilizou-se o valor de 15 metros como distância ideal entre os *pontoons*. Esta medida também se mostrou satisfatória em relação aos cálculos de estabilidade intacta da embarcação.

4.3 – Resistência total ao avanço e escolha da forma submersa

A conjugação do método de cálculo de resistência ao avanço aplicado em cada forma submersa com distância de 15 metros entre as linhas de centro dos *pontoons* resultou na escolha da forma ideal pelo ponto de vista da economia de combustível e alocação do sistema propulsivo.

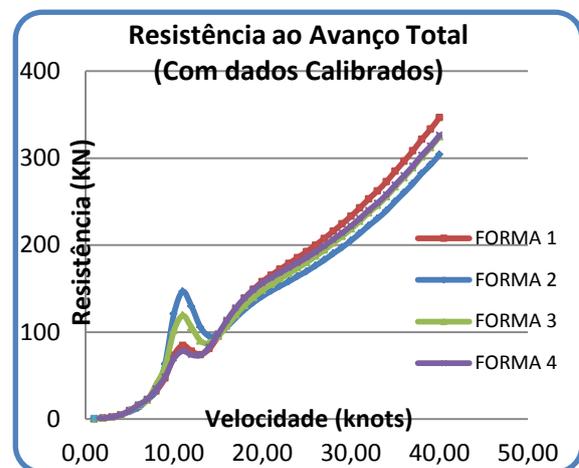


Figura 6 - Gráfico de R_t das formas modeladas

Para a velocidade de 16 nós:

Tabela 4 - R_t a 16 nós

| FORMA 1 | FORMA 2 | FORMA 3 | FORMA 4 |
|------------|------------|------------|------------|
| R_t (KN) | R_t (KN) | R_t (KN) | R_t (KN) |
| 111,29 | 127,99 | 107,16 | 113,61 |

A forma que apresentou a menor resistência total ao avanço foi a Forma 3. No entanto, ela apresenta uma alta resistência de

onda na faixa dos 10 nós, ocasionando um *hump speed* que impossibilita o sistema propulsivo de ultrapassar esta faixa de velocidade. Logo, este casco apesar de apresentar menor resistência se mostrou inviável para o prosseguimento do projeto.

Logo, a decisão mais sensata seria a escolha do segundo casco de menor R_t , correspondente a Forma 1. Entretanto, a Forma 4 apresenta apenas 2% de diferença e proporciona um volume maior do torpedo para alocação, instalação e espaço para manutenção e vistoria do sistema propulsivo, dessa forma se fazendo a escolha mais viável de casco para o SWATH RSV.

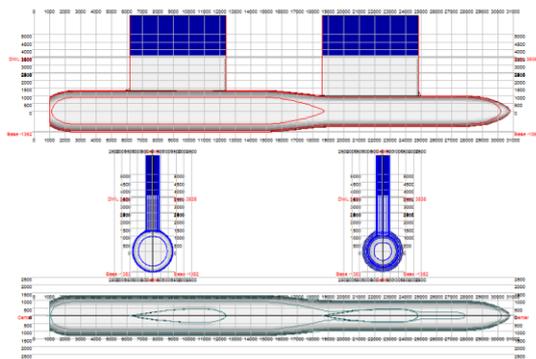


Figura 7 - Forma final escolhida

5. Sistema propulsivo

A seleção do sistema propulsivo é realizada após a conclusão dos resultados obtidos com os cálculos de resistência ao avanço. Em navios SWATHs de menor porte a forma do casco é uma grande limitação do sistema propulsivo, onde os elementos que compõem o mesmo podem não conseguir ficar alocados no espaço definido dentro dos torpedos que garantem o deslocamento.

5.1 – Seleção dos propulsores

Hidrojetos vêm tendo há algum tempo participação crescente em sistemas propulsivos de embarcações de alto desempenho. Estudos comprovam que eles conseguem ser competitivos em eficiência com os propulsores do tipo hélice a partir de velocidades de 30 nós. Entretanto, em algumas embarcações eles vêm sendo utilizados mesmo em uma região onde eles não são tão eficientes, a velocidades menores, especialmente em navios onde há operações de mergulho e lançamento de aparelhos e estruturas, fato constante no caso do SWATH RSV. Isso se dá devido à ocorrência de muitos acidentes nestes tipos de operações realizadas na região próxima a hélices, onde elas estarão sempre em

funcionamento para garantir seu posicionamento dinâmico.

Um dos problemas do uso de hidrojetos é a falta de informações específicas dos propulsores por parte das empresas fabricantes com intuito de proteger suas tecnologias. A seleção do conjunto motor-propulsor ideal foi feita extraindo o máximo possível das informações provenientes dos fabricantes.

Os propulsores foram selecionados através dos dados disponibilizados pela antiga empresa Kamewa, hoje Rolls Royce.

O SWATH RSV apresentará dois hidrojetos, um em cada casco. Então:

$$R_{T \text{ hidrojetos}} = R_T / 2 = 113,61 / 2 = 56,80 \text{ kN}$$

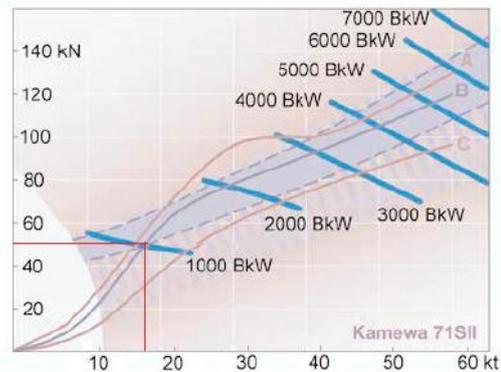


Figura 8 - Hidrojato 71SII Kamewa

O hidrojetos foi selecionado de forma que ele se apresente dentro da faixa de operação onde ele é eficiente e onde os riscos de cavitação são baixos, de acordo com os dados disponíveis da empresa fabricante.

Da Figura 8, para 16kt, o hidrojetos selecionado foi o “Kamewa 71SII – 1000BkW” e a rotação requerida no eixo é dada pela Figura 9, de 700 rpm.

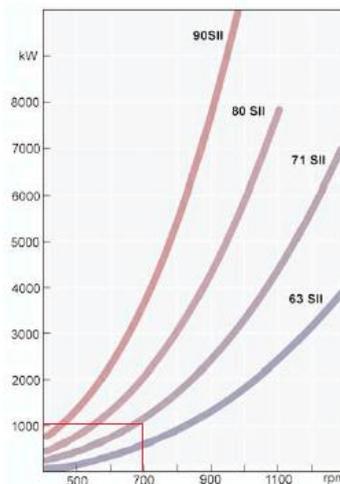


Figura 9 - Rotação requerida no eixo

5.2 – Seleção dos motores

Considerando as margens de mar (10%), do motor (10%) e de rotação (5%) adotadas, obteve-se uma potência de 1100 kW (1475 hp) e uma rotação de 735 rpm.

Sabendo que o espaço físico do motor é um dos problemas de projeto do SWATH RSV, a tendência natural foi a escolha por motores diesel de média/alta rotação.

Foi escolhido o modelo 12AYM, com *rating Medium Duty* (adequado a operação do RSV) da fabricante Yanmar, que atende com tranquilidade à potência necessária. No SWATH RSV são utilizados dois, um em cada casco.

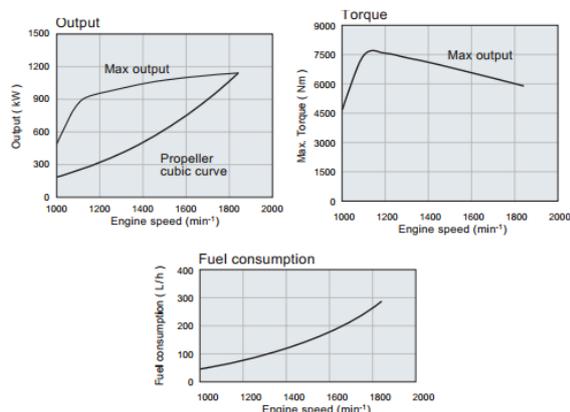


Figura 10 - Curvas de desempenho do motor escolhido

5.3 – Seleção das caixas redutoras

Duas caixas redutoras para 1:2,1, modelo SCV42 da Wärtsilä, de redução simples, vertical, foram selecionadas, uma vez que a rotação dos motores a 1100kW é de 1560rpm.

5.4 – Seleção dos Bow Thrusters

Embora a escolha de propulsores do tipo hidrojetos tenham sido adotados também com a intenção de reforçar o sistema de posicionamento dinâmico (DP, *stationkeeping*), é necessária também para o SWATH RSV a instalação de impelidores de vante ou *Bow Thrusters*. Nesta seção são demonstradas as forças envolvidas no seu dimensionamento.

Para isso têm-se:

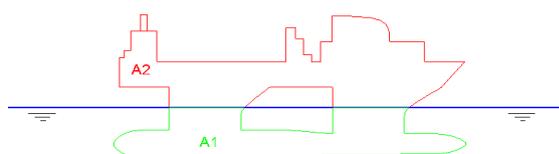


Figura 11 - Áreas projetadas do SWATH RSV30

$$A1 = \text{Área transversal submersa} \approx 99,7\text{m}^2;$$

$$A2 = \text{Área transversal emersa} \approx 146,26\text{m}^2.$$

5.4.1 – Força do vento

A força máxima do vento sobre a área A2 pode ser calculada pelo Modu Code (1990):

$$F_{VENTO} = 0,5 \cdot (C_S) \cdot (C_H) \cdot (\rho_{ar}) \cdot (V^2) \cdot (A) \quad (3)$$

F_{VENTO} = Força do vento, em N;

C_S = Coeficiente de forma;

C_H = Coeficiente de altura;

V = Velocidade do vento, em m/s;

A = Área projetada das superfícies expostas ao vento = $A2 = 146,26\text{m}^2$;

ρ_{ar} = Massa específica do ar ($1,222\text{Kg/m}^3$)

Ainda através do Modu Code (1990) sabe-se que para o SWATH RSV, $C_S=1.0$ e $C_H=1.0$. Utilizou-se velocidade de vento de 36m/s (70 nós), valor comumente aplicado para serviços *offshore* em condições normais de operação.

Dessa forma, obteve-se: $F_{VENTO} = 115,81\text{ kN}$

A força de través, devido à corrente ($F_{CORRENTE}$) pode ser dada por:

$$F_{CORRENTE} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{água}} \cdot V^2 \cdot A_1 \cdot C_D \quad (4)$$

De acordo com Carvalho (2010), a velocidade da corrente marítima na região da Bacia de Santos $V_C \leq 0,5\text{m/s}$. Por segurança foi adotada $V_C = 1,5\text{m/s}$;

$\rho_{\text{água}}$ = peso específico da água ($1,025\text{t/m}^3$);

De acordo com estudos de Gaythwaite (2004), para cascos esbeltos e com um baixo coeficiente de bloco (caso do SWATH RSV30), é possível supor um coeficientes de arrasto lateral C_D entre 0,6 e 0,8. Dessa forma admitiu-se $C_D=0,7$.

Levando também em consideração que a corrente que atinge o segundo casco tem magnitude drasticamente reduzida devido a presença do primeiro casco, pode-se estimar a força total exercida pelas força das correntes marítimas no SWATH RSV utilizando uma estimativa a favor da segurança, de que o segundo casco é atingido com uma velocidade de corrente de metade do valor aplicado ao casco onde há o primeiro impacto ($0,75\text{m/s}$).

Assim a força total será o conjugado das forças proeminentes em ambos os cascos:

$$F_{CORRENTE} = F_{CORRENTE1} + F_{CORRENTE2} \quad (5)$$

Dessa forma tem-se: $F_{CORRENTE} = 100,56\text{ KN}$.

5.4.2 – Força das ondas

Não é possível precisar a força lateral resultante da ação das ondas sobre o casco (F_{ONDA}). Entretanto, para uma escolha segura de dimensionamento dos *Bow Thrusters* foi aplicado um coeficiente de segurança de 25% sobre o valor da força de corrente que atua sobre o casco:

$$F_{ONDA} = 1,25 \cdot F_{CORRENTE} \quad (6)$$

$$F_{ONDA} = 25,14 \text{ KN}$$

5.4.3 – Escolha dos *Bow Thrusters*

A força lateral total ($F_{LATERAL}$) sobre o SWATH RSV pode ser finalmente obtida:

$$F_{LATERAL} = F_{VENTO} + F_{CORRENTE} + F_{ONDA} \quad (7)$$

$$F_{LATERAL} \approx 204,61 \text{ KN}$$

O sistema de posicionamento dinâmico conta com dois *bow thrusters* e os dois hidrojetos selecionados. A conjugação do empuxo de todos os propulsores deve, quando somados, corresponder à estimativa da magnitude da força lateral máxima devido a ação de vento, ondas e corrente. Assim admitiu-se que cada impelidor de vante deverá apresentar um empuxo de:

$$F_{EMPUXO_BOW_THRUSTER} = (F_{EMPUXO_TOTAL})/4 = 51,15 \text{ KN}$$

A escolha dos *Bow Thrusters* se deu através de catálogos e da análise de navios semelhantes levando-se em consideração os cálculos efetuados nessa seção. Tendo isso em vista, foram escolhidos modelos STT 110 da *Schottel*, com potência máxima de 200kW.

| Type | P max. DP [kW] | P max. [kW] | Input Speed [rpm] | Freq. [Hz] | Gear Reduction | Tunnel ø [mm] | Propeller ø [mm] | Tunnel wall thickness [mm] | Tunnel length [mm] | Weight [kg] ** |
|---|----------------|--------------|-------------------|------------|----------------|---------------|------------------|----------------------------|--------------------|----------------|
| Standard operation with FP propeller and electric prime mover * | | | | | | | | | | |
| STT 60 | 100 | 1470 1170 | 50 60 | 50 60 | 1.47 | 670 | 620 | 15 | 1000 | 560 |
| STT 110 | 200 | 1470 1170 | 50 60 | 50 60 | 1.86 | 815 | 790 | 15 | 1000 | 890 |
| STT 170T | 315 | 1770 1470 | 60 50 | 60 50 | 2.70 | 1015 | 990 | 20 | 1500 | 1680 |
| STT 170 | 350 | 1770 | 60 | 60 | 3.07 | | | | | |
| | 350 | 1470 | 50 | 50 | 2.70 | 1115 | 1090 | 20 | 1500 | 1730 |
| | 280 | 1170 | 60 | 60 | 2.70 | | | | | |

Figura 12 – *Bow Thruster* STT110 Schottel

6. Geração de Energia

Visto o caráter conceitual do projeto do SWATH RSV, foram estimados geradores auxiliares e de emergência através de análise de embarcações semelhantes RSVs.

1 – Geradores Auxiliares: 2 geradores auxiliares de 540kW de potência cada, modelo 3412C, da Caterpillar.

2 – Geradores de Emergência: 1 gerador modelo C4.4, da Caterpillar, com 56kW de potência.

7. Topologia Estrutural

Esta seção se faz demasiada importante para o projeto global do SWATH RSV devido principalmente a forma não usual dos cascos gêmeos, e possibilidade de um peso leve elevado em relação a monocascos e catamarans equivalentes, em função da grande área molhada dos *pontoons*.

Todo o dimensionamento estrutural foi projetado através da regra HSC - *High Speed Naval Craft* (2007) da sociedade classificadora ABS (*American Bureau of Shipping*). Além disto, todas as espessuras utilizadas foram aproximadas ao padrão comercial fornecido pelos principais fabricantes do mercado brasileiro.

A embarcação terá toda sua estrutura construída em alumínio naval 5052 H34, que em geral, possui o peso específico de aproximadamente 2,68 t/m³, tensão de escoamento igual a 200 MPa e tensão de ruptura de 255 MPa.

A estrutura do SWATH RSV foi dimensionada com pequenos reforços longitudinais e reforços gigantes transversais, cavernas.

Foram definidos os seguintes espaçamentos:

Tabela 5 – Características estruturais

| | | |
|---|------|---|
| Espaçamento entre cavernas | 1,00 | |
| Espaçamento entre longitudinais | 0,50 | m |
| Distância antepara de colisão de vante - proa | 1,15 | m |
| Distância antepara de colisão de ré - popa | 4,00 | m |
| Pontal | 9,39 | m |

Todas as anteparas presentes no interior dos torpedos são estanques e estão posicionadas de forma a delimitar os tanques ali definidos e garantir a integridade da embarcação em caso de avaria.

Além disso, na região entre o *wet deck* e o convés principal foram estabelecidas duas anteparas longitudinais para conferir continuidade estrutural às anteparas longitudinais do moon-pool.

O dimensionamento estrutural satisfaz com folgas os requerimentos das regras da classificadora adotada, como pode ser observado:

Tabela 6 – Cálculos mínimos de regra

| | Regra (cm ² m) | Calculado (cm ² m) | Segurança |
|---|---------------------------|-------------------------------|-----------|
| Módulo de Seção Long. Viga Navio | 433,17 | 1021,55 | 135,83% |
| Momento de Inércia Long. Viga Navio | 704,99 | 5529,92 | 684,40% |
| Módulo de Seção Transv. Cross Struct. | 116,58 | 236,22 | 102,63% |
| Módulo de Seção Torcional Cross Struct. | 101,92 | 124,40 | 22,05% |

8 –Peso Estrutural

Chapeamentos externos, chapeamentos das anteparas, conveses, reforçadores longitudinais e transversais foram modelados através do software *Rhinoceros 4.0*.

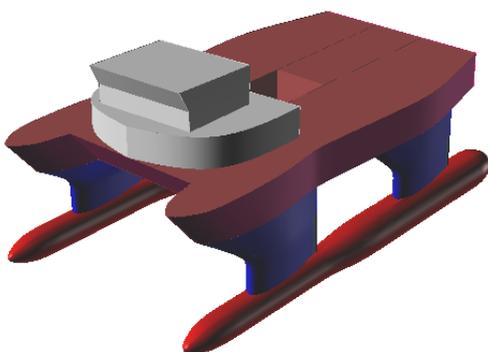


Figura 11 – Chapeamento exterior

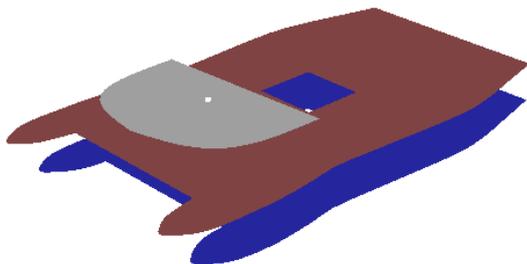


Figura 12 - Conveses

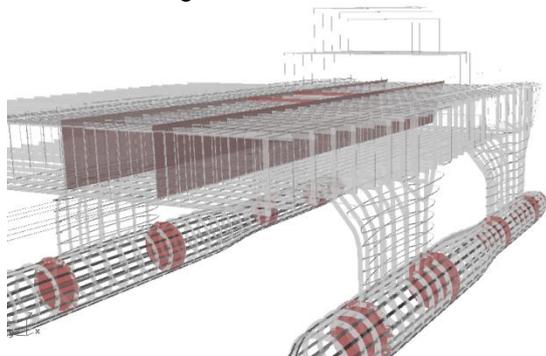


Figura 13 – Reforçadores e anteparas estanques



Figura 14 – Detalhe do reforçamento no interior do pontoon

Conhecendo-se a massa específica do alumínio naval 5052 H34 correspondente a 2,80t/m³, foi possível obter precisamente o peso e o centro de gravidade estrutural da embarcação. Como neste projeto não foi realizado o detalhamento estrutural, será suposto um acréscimo de 3% no peso leve estrutural; esta margem de erro também leva em consideração o peso extra de solda.

Tabela 7 – Peso estrutural do SWATH RSV

| Peso Estrutural Final - Margem 3% | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|
| Peso Total (t) | Xg (m) | Yg (m) | Zg(m) |
| 109,03 | 14,66 | 0,00 | 4,81 |

9. Principais Equipamentos de Operação

O SWATH RSV tem a grande missão de comportar todas as funcionalidades dos RSVs comuns em uma embarcação compacta, de 30 metros de comprimento. Valendo esta premissa, foram selecionados no mercado equipamentos mais leves e menos robustos. A definição de todos os principais equipamentos é imprescindível para o cálculo do peso leve e CG e os decorrentes cálculos de equilíbrio e estabilidade intacta e em avaria. Abaixo são descritos os equipamentos de operação escolhidos:

- ROV de trabalho (Work Class) modelo *Triton XLR*, de 3 tons;
- ROV de observação modelo *Minimum*, da empresa *Oceaneering*, de 0,25 ton;
- 3 (Três) transponders da empresa *Trelleborg Offshore*, modelos *TFC3-1000* (56 kgs), *TFC3-2000* 63 kgs) e *TFC3-3000* (65 kgs), para operação a 1000m , 2000m, e 3000 m de profundidade, respectivamente;
- Barco de apoio modelo *Zodiac ProJet 420 TC4* da empresa *Zodiac*, com 4,5 m de comprimento total e aproximadamente 0,410 tons;
- Guindaste principal tipo "knuckle boom" modelo *PK 65002M*, da *Palfinger Marine*, de 4,815 tons;
- Guindaste secundário (*knuckle-boom*)

PK 11001M, da Palfinger Marine, de 0,88tons;

- Guincho do guindaste principal *Dynacon Model 421 D3*, de 9,875 ton;
- Guincho dos Transponders *Dynacon 8000A*, de 0,985 ton;
- Sistema completo para mergulho saturado, modelo *ESO-131 6-Man Saturation System*, da *Dixon Marine*, de 30 ton;
- Câmara de descompressão *Transportable 5 - Person TL*, da *COWAN*, de 0,95 ton;
- Compressor *SCR220WG-10 Oil-free Compressor*, da *Shanghai Screw Compressor*, de 3,65 ton;
- Equipamento de salvatagem, 2 (dois) *Viking Liferaft - L025DS10*, 25 pessoas cada;

10. Cálculo de Consumíveis

1 – Combustível (Diesel): O SWATH RSV está sendo projetado para operar no pré-sal. Assim, o tempo que levará para atingir o seu destino cobrindo uma distância de 540 km na velocidade de 16kt será de 18 horas. Ou seja, a cada serviço, a embarcação operará não mais que 2 dias na velocidade de serviço (V_s), o restante do tempo considera-se que a embarcação irá operar em posicionamento dinâmico ou ancorada.

Levando em consideração uma viagem de 10 dias, através da análise da operação deste tipo de embarcação pode-se simplificar um perfil propulsivo equivalente à, aproximadamente, 25% do tempo em V_s e os outros 75% em DP ou ancorada.

Sabe-se que quando o SWATH RSV estiver operando em posicionamento dinâmico (DP), ocasionalmente será necessário acionar os hidrojetos para auxiliar os *thrusters*. O consumo dos motores nesse caso não serão maiores que 10% do consumo à V_s . Assim, é possível calcular a necessidade de consumo dos motores principais (MCPs) e dos MCAs da embarcação.

Tabela 8 – Consumo de MCPs e MCAs

| | MCPs | MCAs |
|------------------------|-------|-------|
| Consumo na V_s (L/h) | 183,0 | 79,0 |
| Consumo em DP (L/h) | 18,3 | 153,1 |
| Qtde Motores | 2 | 2 |
| Horas em V_s (h) | 6 | 6 |
| Horas em DP (h) | 18 | 18 |
| Dias de serviço | 10 | 10 |

| | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Consumo diário/ motor (L) | 1427,4 | 3229,8 |
| Peso Total Diesel (ton) | 24,27 | 58,88 |

Desta forma define-se que para 10 dias de operação, a embarcação deverá transportar aproximadamente 79,2 t de óleo diesel para consumo próprio, ocupando um volume de 83,84 m³.

2 – Água Doce: de acordo com a Fundação Nacional de Saúde, uma pessoa necessita de 60 litros de água por dia. Como a embarcação comportará um máximo de 27 pessoas a bordo, a quantidade necessária para 10 dias de viagem será de 18.900 L ou 18,9 t de água doce.

Os tanques de água (em azul), diesel (em vermelho), e os de lastro (verde) foram modelados no software *Maxsurf Modeler*.

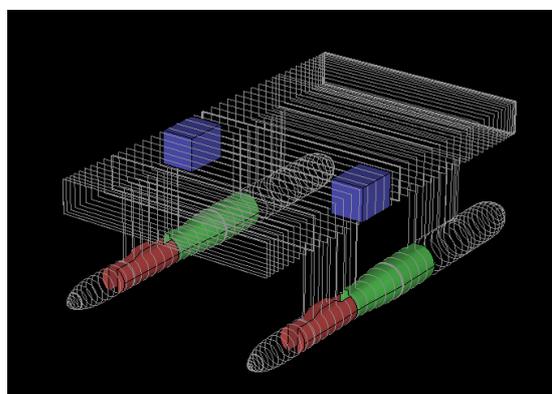


Figura 15- Tanques modelados no *Maxsurf*

11–Arranjo Geral

O arranjo geral do SWATH RSV foi projetado com o intuito de promover uma distribuição de equipamentos no qual seja capaz realizar com sucesso todas as operações requeridas, apresentando capacidade de alocar 27 pessoas com conforto e segurança.

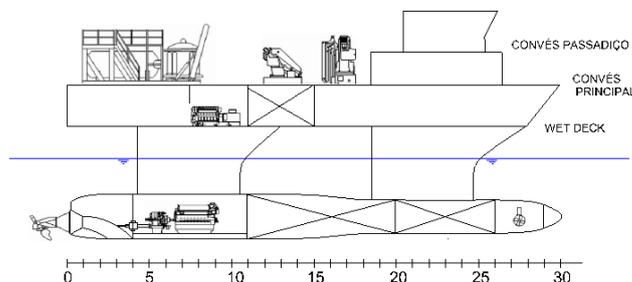


Figura 16 – Vista de perfil do SWATH RSV

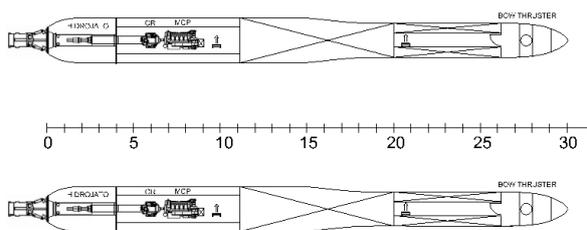


Figura 17– Pontoon do SWATH RSV

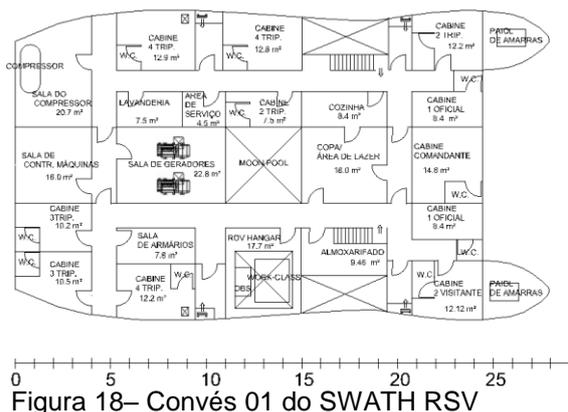


Figura 18– Convés 01 do SWATH RSV

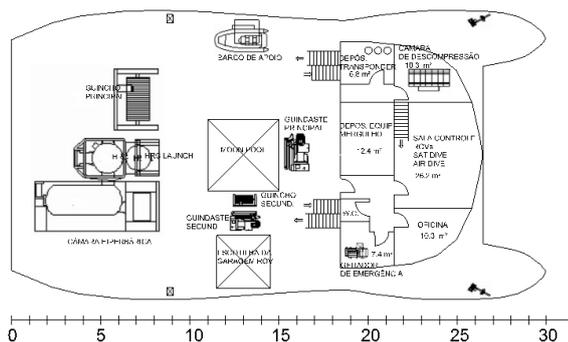


Figura 19– Convés principal do SWATH RSV

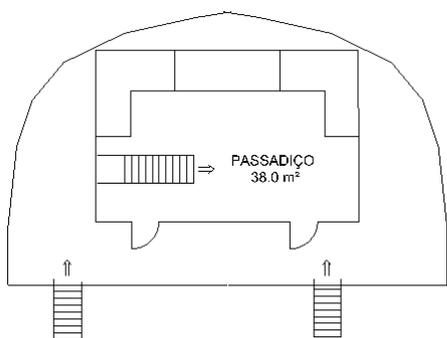


Figura 20– Cabine de comando do SWATH RSV

O uso de embarcações multicasco permite que haja uma boa área de convés no *deck box*, permitindo que equipamentos e compartimentos possam ser distribuídos facilmente de maneira a garantir segurança e

operacionalidade.

12. Deslocamento Final, CG e Posição de Equilíbrio Estático

Tendo sido definidos o peso de combustível, peso de água, características dos equipamentos selecionados e o peso de alumínio, é possível verificar o peso total da embarcação:

Tabela 9–Deslocamento final

| | Peso (ton) | Xg (m) | Yg (m) | Zg (m) |
|----------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| Peso estrutural | 108,05 | 14,66 | 0,00 | 4,81 |
| Equipamentos Princ. e Máq. | 87,64 | 9,78 | 0,00 | 4,30 |
| <i>Outfitting</i> | 10,45 | 14,66 | 0,00 | 4,81 |
| Água | 18,89 | 23,00 | 0,00 | 3,56 |
| Combustível | 79,39 | 15,03 | 0,00 | 1,38 |
| Total | 304,42 | 13,87 | 0,00 | 3,69 |

Assumiu-se o peso do *outfitting* como aproximadamente 10% do peso leve estrutural. O *outfitting* remete a tubulações, isolamentos acústico, térmico, móveis de acomodações, etc. Seu centro de gravidade, por se tratar de pesos igualmente distribuídos ao longo da embarcação, será suposto como sendo o mesmo do peso estrutural.

Foram estudadas duas condições de carregamento (partida e chegada). Ambas as condições apresentam o requisito de equilíbrio intacto requerido para SWATHs, que corresponde a trim zero.

Uma das características de um navio SWATH é a baixa TPC (tonelada por centímetro de imersão), sendo um navio muito sensível a variações de deslocamento. Isto se dá devido basicamente à pequena capacidade dos *struts* de deslocar água. Esta característica foi confirmada no presente projeto e à medida que a embarcação vai consumindo água e diesel, os dois tanques criados nos *pontoons* entre as cavernas 11 e 20 (um em cada bordo) devem ser lastrados, onde na condição de chegada os mesmos se encontrem totalmente cheios. Esta medida se dá de forma a manter os dois *pontoons* sempre submersos.

Tabela 10 – Peso e CG

| Distribuição do Peso Final para cada Condição de Carregamento | | | | |
|---|------------|--------|--------|--------|
| Condições de Carregamento | Peso (ton) | Xg (m) | Yg (m) | Zg (m) |
| 100% Consumíveis | 304,42 | 13,87 | 0,00 | 3,69 |
| 10% Consumíveis | 260,91 | 13,69 | 0,00 | 5,12 |

Tabela 11– Equilíbrio Intacto Final

| Cond. De Carregamento | Tpr (m) | Tav (m) | Trim (m) |
|-----------------------|---------|---------|----------|
| 100% Consumíveis | 4,93 | 4,93 | 0,0 |
| 10% Consumíveis | 2,95 | 2,95 | 0,0 |

13. Estabilidade Intacta

A capacidade do SWATH RSV de voltar à posição de equilíbrio foi analisada com relação a critérios de estabilidade da regra HSC Code (2000), para embarcações do tipo catamaran. O software utilizado para análise foi o Hydromax (Maxsurf). Para o critério de vento foi utilizada a área exposta transversal da embarcação e uma velocidade do vento correspondente a 100kt.

Para ambas as condições de carregamento estudadas (Condição 1: 100% consumíveis e Condição 2: 10% consumíveis), a embarcação ficou dentro dos critérios estipulados pela regra.

Tabela 12 – Estabilidade intacta

| | Condição 1 | Condição 2 |
|---|---------------|--------------|
| 1.1 Area 0 to 30 | | |
| GZ area at higher heel angle br greater than | 3,151 m.deg | 3,151 m.deg |
| Resultado (Passou) | 37,5223 m.deg | 36,959 m.deg |
| 1.2 Angle of max. GZ | | |
| GZ not less than | 10 deg | 10 deg |
| Resultado (Passou) | 35,5 deg | 33,6 deg |
| 1.5 Area between GZ and HTL | | |
| Area between GZ and heeling arms not be less than | 1,604 m.deg | 1,604 m.deg |
| Resultado (Passou) | 52,801 m.deg | 4,8769 m.deg |
| 3.2.1 Angle of equilibrium with gust wind HL2 | | |
| angle of equilibrium not be greater than | 10 deg | 10 deg |
| Resultado (Passou) | 0,6 deg | 0,7 deg |

Pode-se averiguar que o SWATH RSV atende com folga os requisitos de estabilidade intacta, como seria de se esperar para este tipo de embarcação.

14. Conclusões

Conclui-se ao final do presente projeto conceitual, que o navio SWATH pode se mostrar uma alternativa viável para o apoio a operações *offshore* de embarcações do tipo

RSV na bacia de Santos.

Esta conclusão se dá pela comparação com o mesmo projeto realizado no monocasco de De Mello (2013) e no catamaran de Schachter et al (2012). Para o monocasco, na tentativa de uma embarcação RSV de apenas 30 metros, observaram-se problemas quanto à dificuldade de atender critérios de estabilidade. Já para o catamaran, observou-se um limite de operação quanto ao comportamento em ondas em mares mais agitados, o que é natural de um navio catamaran.

A geometria SWATH dessa maneira aparece como um projeto que aparenta ser adequado à operação, cujas vantagens, principalmente em relação à estabilidade e comportamento em ondas (apesar de ainda não terem sido avaliados por completo) são intrínsecos à sua forma de casco.

É importante ressaltar que este projeto conceitual ainda se encontra em fase de desenvolvimento, mas espera-se confirmar ainda mais a capacidade de concepções do tipo SWATH serem capazes de atender a este tipo de serviço.

15. Agradecimento

Os autores desejam agradecer à **ANP** e à **PETROBRAS** pelo patrocínio que tornou possível o desenvolvimento deste projeto.

16. Bibliografia

- [1] CARVALHO, J.T., “*Simulação da Distribuição de Energia das Ondas Oceânicas ao Largo do Litoral Brasileiro*”. Tese de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 2010;
- [2] DE MELLO, E. B. “Análise Da Viabilidade Técnica De Concepções Alternativas De Embarcação Leve Para Apoio À Manutenção e Inspeção Submarina”. Projeto de Graduação UFRJ, Escola Politécnica; Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Janeiro, 2013;
- [3] GAYTHWAITE, J., “Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels”, 2nd edition, Virginia, USA, ASCE Press, 2004;
- [4] HARVALD, SV. AA., “Determination of Ship Resistance”, In: McCormick, M. E., Bhattacharyya, R., Resistance and Propulsion of Ships, 1st edition, Chapter 5, USA, A Willey Interscience Publication, 1976;
- [5] High Speed Naval Craft, *Guide for Building and Classing*, American Bureau of Shipping, 2007;

[6] HOLTROP, J., "A *Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data*". International Shipbuilding Progress, Vol. 31, No. 363, November 1984;

[7] LAMB, G. R., 1988, "*Some Guidance for Hull Form Selection for SWATH Ships*", SNAME Transactions, pp. 1-14, 1988;

[8] Marpol 73/78, Regulations for the Prevention of Pollution by Oil. IMO (International Maritime Organization), London, 2002;

[9] 1989 MODU CODE, *Code for the Construction and Equipment of Offshore Mobile Units*, IMO (International Maritime Organization), London, 1990;

[10] MICHALSKI, J. P., "Statistical Data of Hull Main Parameters Useful for Preliminary Design of SWATH Ships", Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. VII, 2007;

[11] SCHACHTER, R.D., SEABRA, P.A., ANTOUN NETTO, T., "Projeto conceitual de uma embarcação leve para apoio à manutenção e inspeção submarina", 24^o CNTACNO, SOBENA 2012, pp. 1-15, Rio de Janeiro, 2012;

[12] SCHACHTER, R.D., SEABRA, P. A., "Obtenção da resistência ao avanço de catamarans através do método de Michell no software Michlet", 24^o CNTACNO, SOBENA 2012, pp. 1-15, Rio de Janeiro, 2012;

[13] SEABRA, P. A. "Projeto de Análise da Viabilidade Técnica de uma Embarcação Leve para Apoio à Manutenção e Inspeção Submarina". Projeto de Graduação UFRJ, Escola Politécnica; Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Janeiro, 2012;

[14] Software Freeship, Versão 2.6 Free. em:<http://www.softpedia.com/progDownload/Freeship-Download-45076.html>;

[15] TUCK, E. and LAZAUSKAS, L.: Software Michlet, 2005. Disponível em: <http://www.cyberiad.net/michlet.htm>. Acesso em: 20, jan. 2014, 19:30:30;

[16] VAN MANEN, J. D., VAN OOSSANEM, P., "Resistance" em: Lewis, E. V., Principles of Naval Architecture, 1st edition, Chapter V, Jersey City, NJ, USA, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.