

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**

**MARCELLE CEZAR LEÃO**

**PROJETO SUSY: Sistema de Flutuação para Recuperação de Navios**

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**MARCELLE CEZAR LEÃO**

**PROJETO SUSY: Sistema de Flutuação para Recuperação de Navios**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerk  
Engenheiro Químico  
Especialista em Hidrodinâmica

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**MARCELLE CEZAR LEÃO**

**PROJETO SUSY: Sistema de Flutuação para Recuperação de Navios**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerk  
Engenheiro Químico  
Especialista em Hidrodinâmica

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho à minha família,  
em especial aos meus pais, meu irmão,  
namorado, amigos e aos colegas de  
profissão.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus pela força e motivação diária para superar as dificuldades encontradas no caminho e ir além do que eu me imaginei ser capaz. Aos mestres e professores que proporcionaram tantos conhecimentos importantes para a minha formação durante estes anos e me deram a oportunidade de ser uma excelente profissional. A minha família e namorado, pelo amor, paciência e apoio incondicional. Obrigada por acreditarem em mim, seu cuidado e a dedicação foram ferramentas essenciais para me ajudar a prosseguir. Aos colegas de escola pelas boas amizades e recordações construídas ao longo do curso. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação e estarão comemorando mais esta vitória comigo.

*É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.*

*(THEODORE ROOSEVELT)*

## RESUMO

Os recursos tecnológicos são grandes aliados em muitas áreas profissionais, e se fizeram presentes em todas elas de forma notável. Na navegação, não foi diferente. Muitas dessas inovações trouxeram consigo grandes modificações e, conseqüentemente, grandes resultados. Porém, mesmo que menor, ainda é significativo o número de acidentes no mar e de problemas na navegação. Entre falhas humanas, falhas técnicas e problemas com diversos equipamentos a bordo, ainda existem situações em que não se é possível reverter perdas e danos a tempo. Com isso em mente, foi criado o Projeto SuSy. O objetivo deste trabalho é expor as características desse projeto e trazê-lo a conhecimento, designado como um sistema de flutuação para recuperação de navios, que utiliza os princípios do airbag. É um sistema em desenvolvimento com o objetivo de estabilizar navios rapidamente e evitar vazamentos após um acidente no mar. Essa tecnologia é capaz de adicionar estabilidade a uma embarcação através da geração rápida de um grande volume de gás em combinação com balões, com o objetivo de socorrer navios em situações de perigo, ou até recuperar navios já naufragados. Para alcançar tal objetivo, muitas etapas já foram cumpridas, porém, ainda existem algumas a serem realizadas. Se fizeram necessários conhecimentos e estudos sobre os conceitos da flutuação, sobre a tecnologia dos equipamentos a serem utilizados, os possíveis cenários em que se utilizaria o SuSy e os tipos de gases a serem utilizados. Muitos softwares foram utilizados para obter informações necessárias e projeções de possibilidades de construção do sistema. Já foram realizados testes de mar com protótipos básicos, a fim de avaliar o progresso e se ajustar o que fosse preciso. O projeto tem sido apresentado em várias conferências, e tem adquirido boa aceitação das empresas de navegação. Além disso, os resultados positivos trazem esperança e satisfação aos desenvolvedores, pois, quando pronto, certamente esse sistema será uma grande inovação para a navegação e a segurança da vida no mar.

Palavra-chave: Acidentes marítimos. Flutuação. Tecnologia de balões. Estabilidade. Segurança.

## ABSTRACT

Tecnological resources are great allies in many professional areas, and were present in all of them in remarkable ways. In navigation, it was no different. Many of these innovations have brought great changes and, consequently, great results. But, even smaller, is still significant the number of accidents at sea and problems in navigation. Among human error, technical failures and problems with several equipment on board, there are still situations where it is not possible to reverse damages in time. With this in mind, the SuSy Project was created. The aim of this study is to expose the characteristics of this Project and bring it to knowledge, designated as a floating system for recovery vessels, which uses the principles of airbag. It is a developing system in order to stabilize rapidly vessels and prevent leaks after na accident at sea. This technology is able to add stability to a vessel by rapidly generation of a large volume of gas in combination with ballons, with the aim of rescuing vessels in dangerous situation, or even to recover sunken vessels. To achieve this goal, many steps have been completed, however, there are still some to be performed. Necessary knowledge and studies were made on the concepts of floating, on the technology of the equipment to be used, the possible scenarios in which SuSy would be used and the types of gases to be used. Many softwares were used to obtain necessary information and projections of system building possibilities. Sea tests were conducted with basic prototypes, in order to assess the progress and adjust what was needed. The Project has been presented at several conferences, and was well received by shipping companies. In addition, the positive results bring hope and satisfaction to developers because, when ready, surely this system will be a major innovation for navigation and safety of life at sea.

Keyword: Maritime accidents. Floating. Ballon technology. Stability. Safety.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Representação do Princípio de Arquimedes	15
<b>Figura 2</b> – Pontos notáveis do navio	16
<b>Figura 3</b> – Graus de liberdade do navio	20
<b>Figura 4</b> – Efeito de superfície livre	21
<b>Figura 5</b> – Esforços estruturais	22
<b>Figura 6</b> – Disposição dos balões por toda a extensão do navio	23
<b>Figura 7</b> – Geração de gás com mistura de fluxo quente com fluxo frio	30
<b>Figura 8</b> – Geração de gás com mistura de fluxo quente com água líquida	31
<b>Figura 9</b> – Geração de gás com troca de calor entre gás quente e água fria	31
<b>Figura 10</b> – Instalação interna dos balões no duplo fundo	34
<b>Figura 11</b> – Cortinas desativadas e ativadas no convés do navio RoRo	34
<b>Figura 12</b> – Esquema da unidade externa geradora de gás	35
<b>Figura 13</b> – Traje de mergulho	38
<b>Figura 14</b> – Sino de mergulho	38
<b>Figura 15</b> – Exemplo de ROV	40
<b>Figura 16</b> – Vista do trabalho do ROV	40
<b>Figura 17</b> – Modelo da estrutura para teste de mar	43
<b>Figura 18</b> – Esquema técnico da plataforma para testes	45
<b>Figura 19</b> – Posicionamento da estrutura	47
<b>Figura 20</b> – Unidade geradora de gás	47
<b>Figura 21</b> – Fixação da unidade	47
<b>Figura 22</b> – Instalação dos balões externos	47
<b>Figura 23</b> – Instalação dos balões internos	48
<b>Figura 24</b> – Transporte para o estaleiro	48
<b>Figura 25</b> – Colocação no estaleiro	48
<b>Figura 26</b> – Afundamento na água	48
<b>Figura 27</b> – Verificação do mergulhador	48
<b>Figura 28</b> – Aparecimento da plataforma	49
<b>Figura 29</b> – Balões em perfeito estado	49

<b>Figura 30</b> – Transporte da plataforma	49
<b>Figura 31</b> – Colocação na água	49
<b>Figura 32</b> – Plataforma imersa	49
<b>Figura 33</b> – Aparecimento da plataforma	49
<b>Figura 34</b> – Balões sem avarias	50
<b>Figura 35</b> – Plataforma com angulação	50
<b>Figura 36</b> – Plataforma imersa	50
<b>Figura 37</b> – Aparecimento da plataforma	50
<b>Figura 38</b> – Posicionamento da plataforma	51
<b>Figura 39</b> – Colocação no mar	51
<b>Figura 40</b> – Afundamento da plataforma	51
<b>Figura 41</b> – Inflação dos balões	51
<b>Figura 42</b> – Colocação com angulação	51
<b>Figura 43</b> – Afundamento da estrutura	51
<b>Figura 44</b> – Aparecimento da estrutura	52
<b>Figura 45</b> – Balões sem furos	52
<b>Figura 46</b> – Vista do projeto no software	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2 NOÇÕES BÁSICAS DE ESTABILIDADE</b>	<b>15</b>
2.1 Estabilidade Transversal Estática	17
2.2 Estabilidade Transversal Dinâmica	18
2.3 Estabilidade Longitudinal	19
2.4 Superfície Livre	20
2.5 Esforços Estruturais	21
<b>3 O PROJETO SUSY</b>	<b>23</b>
3.1 Apresentação do Projeto	23
3.2 Planejamento do Projeto	26
<b>4 ESTUDOS RELATIVOS AOS BALÕES</b>	<b>29</b>
4.1 Sistemas de Geração de Gás	29
4.2 Locais de Instalação dos Balões	33
<b>5 EQUIPAMENTOS</b>	<b>36</b>
5.1 Tipos de Mergulho	36
5.2 Materiais de Construção e Inspeções	40
5.3 Ferramentas Submarinas	41
<b>6 TESTE DE MAR</b>	<b>43</b>
6.1 Parâmetros Analisados	44
6.2 Resultados	46
6.3 Imagens dos Testes	47
6.3.1 Dia 1	47
6.3.2 Dia 2	48
6.3.3 Dia 3	49
6.3.3.1 <i>Primeiro Teste</i>	49
6.3.3.2 <i>Segundo Teste</i>	50
6.3.4 Dia 4	51

6.3.5 Dia 5	51
<b>7 SOFTWARES</b>	<b>53</b>
<b>7.1 Modelo do Sistema</b>	<b>53</b>
<b>7.2 HazID</b>	<b>54</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma embarcação, a estabilidade é a propriedade mais importante que deve ser estudada antes de se realizar qualquer atividade, e todas as características do navio são levadas em conta. Qualquer problema na estabilidade de um navio pode levá-lo à sérios problemas, e até mesmo causar acidentes, com perdas de vidas e avarias ao próprio navio ou à outros. Por esse motivo, os estudos relacionados a este tema são extremamente sérios e essenciais, e devem ser feitos com o máximo de qualidade e competência.

Devido a sua grande importância, a estabilidade é a principal preocupação em qualquer operação de um navio, devendo ser mantida sempre dentro dos padrões de segurança necessários. Porém, nem sempre esses padrões são respeitados, e muitos acidentes ocorrem. Visando a diminuição desses problemas, muitas empresas de engenharia se empenham em desenvolver sistemas tecnológicos que trabalhem a todo instante na manutenção dessa estabilidade antes, durante, e depois de qualquer operação realizada com uma embarcação. E dentre todos esses sistemas, encontra-se o objeto de estudo deste trabalho.

O acidente do Titanic foi, sem dúvida, um grande divisor na era da navegação. A partir desse evento, uma série de medidas preventivas começou a ser implantada a bordo das embarcações, muitos códigos e convenções foram criados e muitas inovações tecnológicas foram desenvolvidas visando uma maior segurança no mar, seja ela para o navio, para as vidas ou para o meio ambiente. Esses avanços levaram a uma redução de 85% no número de acidentes marítimos. Porém, ainda que seja grande a redução na possibilidade de ocorrência, o meio marítimo ainda se responsabiliza por muitas tragédias e acidentes graves com navios ao redor do mundo.

É possível citar como exemplo o acidente do Costa Concordia, em 13 de janeiro de 2012, onde o navio de cruzeiro abalroou rochas subaquáticas na região da Toscana, devido ao seu calado. Isso provocou um rompimento no casco, com entrada de água no navio. O ocorrido causou 32 mortes, com 2 corpos desaparecidos. Também foi recente o naufrágio do MV Sewol, na Coreia do Sul, em 16 de abril de 2014. O ferry, que transportava cerca de 459 pessoas e mais de 150

veículos, teve uma mudança súbita de direção e isso deslocou a carga para um dos lados da balsa, prejudicando a sua estabilidade. A balsa adernou até afundar, causando a morte de 226 pessoas, com 72 ainda desaparecidos.

De acordo com um relatório da Lloyd's Register, praticamente metade das perdas totais de navios na navegação moderna (média de 49,1%) é atribuída a naufrágios. Mesmo com todo o padrão informatizado dos navios de hoje, ainda existem muita falhas humanas, condições meteorológicas e problemas com equipamentos a bordo que podem trazer consequências preocupantes ou até fatais às embarcações.

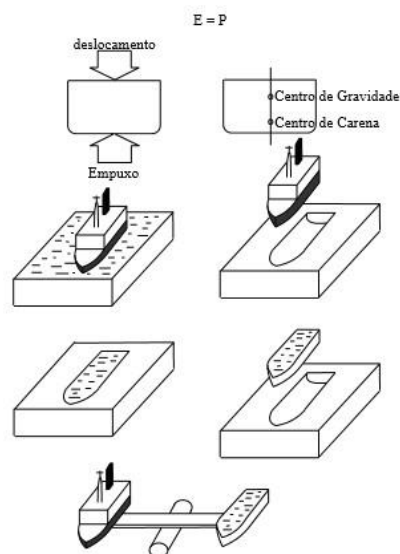
Visando trazer cada vez mais condições seguras para o ambiente marítimo, muitas empresas se empenham em desenvolver novos recursos aplicáveis aos navios. Muitos estudos e testes são feitos por longos períodos de tempo em laboratórios e no mar, a fim de garantir a confiabilidade das novas tecnologias. E esse é o plano de fundo que impulsiona o projeto SuSy.

## 2 NOÇÕES BÁSICAS DE ESTABILIDADE

Antes do desenvolvimento de qualquer projeto de engenharia que envolva atividades da navegação, é necessário conhecer as propriedades e características dos navios, bem como os efeitos que têm influência sobre eles. Muitos são os aspectos a serem considerados quando falamos desse tipo de transporte, e serão comentados os que possuem relevância para este trabalho. Existe, porém, uma característica essencial sem a qual nenhuma embarcação consegue se manter flutuando em condições mínimas de navegabilidade.

A estabilidade é uma propriedade do navio que o faz retornar à sua posição inicial de equilíbrio, a sua capacidade de recuperação depois de sofrer uma força externa que o tire dessa posição. Todo o estudo sobre a estabilidade se inicia com o Princípio de Arquimedes, que diz que todo corpo mergulhado em um fluido sofre uma força deste, chamada empuxo, de baixo para cima e igual ao peso do volume da massa de fluido deslocado. Não depende da profundidade, e sim somente da diferença de pressões entre a face superior e inferior de um corpo. É esse princípio que explica a flutuabilidade dos corpos, que é a propriedade de um corpo de permanecer na superfície do meio em que está imerso, no caso, a água.

**Figura 1** – Representação do Princípio de Arquimedes



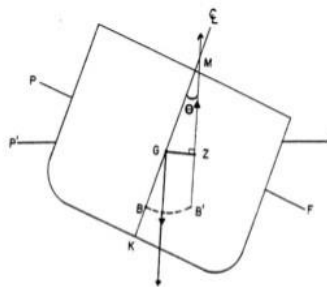
Fonte: Estabilidade para Embarcações Mercantes

Para se analisar a estabilidade de uma embarcação foram determinados três pontos chamados de pontos notáveis, cuja posição relativa caracteriza o estado de estabilidade no momento e conseqüentemente garante a segurança da carga, da viagem e da tripulação. Um deles é o centro de gravidade do navio, definido como “G”, que é o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio. O segundo, chamado de centro de carena e representado por “B”, é o ponto de aplicação do empuxo, o centro geométrico do volume imerso. O terceiro ponto, o metacentro, é conhecido por “M”, e ele representa o ponto de encontro de dois raios de uma curva infinitamente pequena que é descrita pelas sucessivas mudanças de posição do centro de carena de um navio que oscila.

Existe um ponto que não é considerado notável, o ponto “K”. É um ponto pertencente ao plano de base e serve como referência para medição de todas as distâncias verticais a partir dele, que são as chamadas cotas. Dele, temos a cota do centro de gravidade (KG), a cota do centro de carena (KB) e a cota do metacentro (KM), que podem ser obtidas através de cálculos ou de tabelas hidrostáticas a bordo dos navios.

A cota do centro de gravidade pode ser determinada pelo teorema dos momentos de Varignon, que diz que o momento resultante é igual à soma dos momentos das componentes, calculados pela cota de cada peso embarcado pelo próprio valor do peso. Dividindo esse somatório pelo deslocamento do navio, obtemos o KG do navio. Quando o navio está em deslocamento leve, que é o seu peso após a construção (casco, apêndices, máquinas e seus acessórios), seu KG é determinado a partir de uma prova experimental de inclinação.

**Figura 2 – Pontos Notáveis do Navio**





É necessário citar outras definições importantes sobre as dimensões do navio. Existem duas medidas utilizadas para se referir ao comprimento do navio; uma é o comprimento total, que é o maior e inclui os apêndices, a medida linear da parte mais extrema da proa até a parte mais extrema da popa, enquanto a outra é a distância entre as perpendiculares de vante e de ré. A perpendicular de vante é uma linha vertical que passa pelo encontro da roda de proa com a linha d'água, enquanto a perpendicular de ré é a linha vertical que passa pelo eixo do leme.

O calado faz parte dos conceitos básicos de estabilidade, e é a distância entre o ponto mais baixo da embarcação e o plano de flutuação. A partir dessa medida, é possível calcular o compasso, ou trim. O compasso é definido como a diferença dos calados a vante e a ré, de forma que o navio nesta situação não se encontra de forma uniforme sobre a superfície da água. Quando está inclinada para vante, diz-se que a embarcação está “embicada”, ou com compasso pela proa. Se inclinada para ré, tem compasso pela popa e se encontra “derrabada”. Quando o navio está sem compasso, significa que seus calados a vante e a ré são iguais.

Pode ser dividida em estabilidade transversal, que estuda o comportamento do navio no sentido bordo a bordo, e estabilidade longitudinal, que estuda o comportamento no sentido proa a popa. Existe ainda, dentro da estabilidade transversal, uma divisão em estática e dinâmica. Enquanto a estática estuda as forças que afastam o navio da sua posição inicial, a dinâmica se encarrega do estudo da estabilidade sob os efeitos das vagas e influências externas.

## **2.1 Estabilidade Transversal Estática**

Em função das posições dos pontos notáveis e os cálculos relacionados a eles, é possível definir o estado de equilíbrio de um navio. Quando pode voltar à sua posição normal de equilíbrio por conta própria após adernar é chamado de equilíbrio estável. No caso do equilíbrio indiferente ou neutro, constata-se que o navio estará equilibrado em qualquer posição que seja colocado, seja com banda ou adriçado. Se o navio tende a adernar, inclinando para um dos bordos, é chamado equilíbrio instável. Dessas três condições, é fácil deduzir que não é desejável que o navio

esteja em equilíbrio instável ou indiferente, porque em ambas ele perde sua capacidade de adriçar-se após cada inclinação. É necessário que ele esteja bem equilibrado para suportar os balanços sofridos pelos movimentos do mar.

O equilíbrio estável requer que o valor de KM seja maior que o valor de KG, tendo assim uma altura metacêntrica (GM) positiva. É preciso que a distribuição de cargas seja feita de forma a obter uma GM dentro dos padrões aceitáveis. Altos valores de GM causam balanços violentos, com desconforto para passageiros e tripulantes, prejuízos para a estrutura do navio, dificuldade de realização de tarefas básicas a bordo, avarias à carga, mau governo e perda de velocidade. Ao final da construção do navio, o estaleiro disponibiliza uma publicação chamada Caderno de Estabilidade, onde são dadas inúmeras características importantes sobre o navio, incluindo os valores ideais de GM e KG.

Como visto anteriormente, a força da gravidade é aplicada em “G” e a de empuxo é aplicada em “B”. De acordo com suas posições, essas forças formam um binário e a menor distância entre elas é chamada de braço de estabilidade, o GZ. Esse valor determina a posição do navio. Quando GZ é positivo, ele tende a trazer a embarcação à sua posição adriçada, e é chamado então de braço de adriçamento. Quando é negativo, o GZ tende a adernar a embarcação até o seu emborcamento, e por isso, é chamado de braço de emborcamento. Tem-se também o braço de banda, que é um braço negativo que tende a adernar o navio, porém sem emborcá-lo, levando-o a uma posição de banda permanente.

## **2.2 Estabilidade Transversal Dinâmica**

A estabilidade dinâmica é o trabalho executado ao levar o navio de sua posição inicial de equilíbrio adriçado a uma inclinação qualquer, supondo que esse movimento seja suficientemente lento para que se anulem as resistências passivas do ar e da água. O momento conjugado necessário para adernar o navio é igual o momento resistente criado pelo fato de o empuxo e a gravidade estarem atuando em verticais diferentes. Os elementos que, em geral, causam esse momento inclinante nas embarcações são os ventos, as vagas e a carga e descarga de pesos.

A importância desse estudo se deve ao fato de que o navio deve absorver uma certa quantidade de energia externa sem adernar mais que os limites preestabelecidos. Esses são os chamados critérios de estabilidade e são determinados pela autoridade marítima na segurança da navegação, recomendados pela Organização Marítima Internacional (IMO). Consistem em um conjunto de valores mínimos aceitáveis que asseguram a estabilidade do navio em qualquer condição. A partir de diversas fórmulas, é possível calcular a estabilidade dinâmica e verificar se ela se encontra de acordo com os critérios. São feitos estudos em tanques de prova e levantamentos estatísticos para determinação desses valores.

### **2.3 Estabilidade Longitudinal**

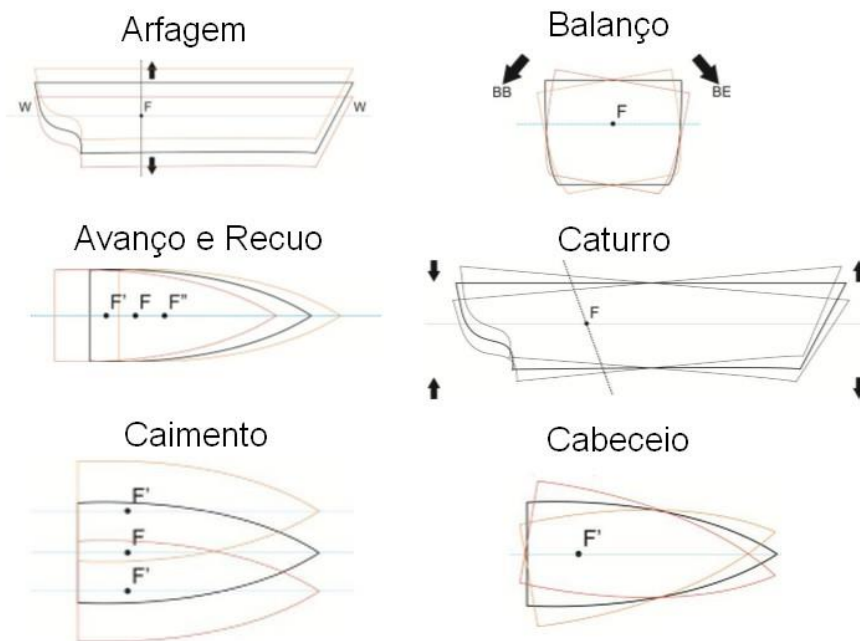
A estabilidade longitudinal se baseia na tendência que o navio possui de manter a sua posição normal longitudinal, e tem grande influência nos cálculos de calado e trim. Para isso, é importante saber o que significa centro de flutuação. Chamado de “F”, o centro de flutuação é o centróide de área de um plano de flutuação. O plano de flutuação é um plano horizontal que corresponde à superfície em que o casco do navio está flutuando. É muito importante conhecer a posição do “F”, que é a sua distância em relação às perpendiculares do navio, pois todos os cálculos de estabilidade longitudinal serão baseados nele.

As forças externas são capazes de alterar a posição e a velocidade do navio. Existem características de comportamento do navio no mar como resposta a essas forças, e que também são muito importantes para os estudos da estabilidade. São os chamados graus de liberdade, e todos são baseados em relação ao centro de flutuação, consistindo em seis movimentos, onde três são lineares e os outros três, angulares. Como lineares, pode-se citar a arfagem, avanço e recuo e o caimento. Os angulares são balanço, caturro e cabeceio.

Arfagem é o movimento de subida e descida do navio em um eixo vertical que passa pelo centro de flutuação. Avanço e recuo são movimentos longitudinais em um eixo longitudinal que passa pelo centro de flutuação horizontalmente. O caimento é um movimento transversal em torno de um eixo transversal que passa pelo centro

de flutuação. Balanço é um movimento oscilatório para BB e para BE em torno do eixo longitudinal que passa pelo centro de flutuação. O caturro é o movimento em torno do eixo transversal no centro de flutuação de forma vertical. Cabeceio é o movimento horizontal para BB e para BE em torno de um eixo vertical que passa pelo centro de flutuação.

**Figura 3 – Graus de liberdade do navio**



Fonte: Estabilidade para Embarcações Mercantes

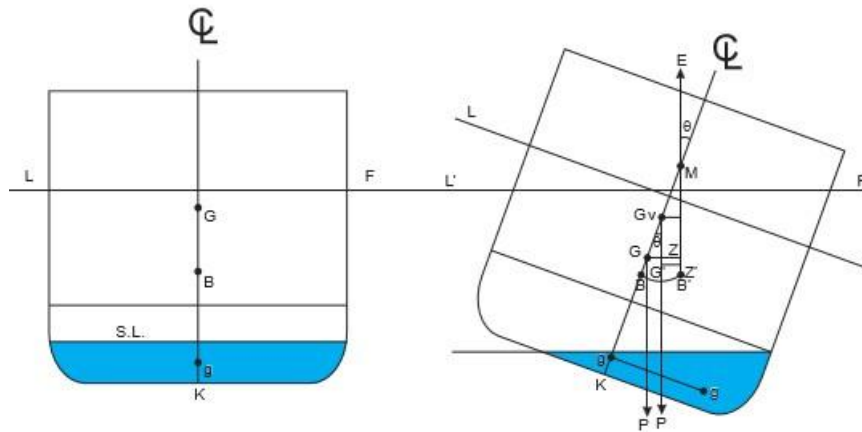
## 2.4 Superfície Livre

Na hora de efetuar o carregamento do navio, existe um efeito muito importante a ser levado em consideração, denominado superfície livre, que é capaz de levar a embarcação a um estado de pouca estabilidade. Esse efeito tem grande influência na segurança, pois provoca uma redução na GM e também na estabilidade do navio. Se um navio possui líquidos livres em seu interior, existe espaço vazio a bordo para expansão desses líquidos. Caso haja uma movimentação muito intensa e esses líquidos se concentrem em um só bordo, é possível que o

navio adquira uma banda, pois seu centro de gravidade se desloca quando os pesos são movimentados.

Em navios com tanques cheios não há alteração do centro de gravidade, pois o líquido se comporta como um sólido se não existir espaço para sua expansão. Esse efeito ocorre, por exemplo, com navios que transportam líquidos em tanques incompletos ou quando existe entrada de água a bordo. A correção da superfície livre pode ser feita através de uma distribuição correta de pesos a bordo ou de um preenchimento dos espaços que se encontram vazios. Também pode ser atenuado com a divisão dos tanques por anteparas longitudinais.

**Figura 4 – Efeito de superfície livre**



Fonte: Estabilidade para Embarcações Mercantes

## 2.5 Esforços Estruturais

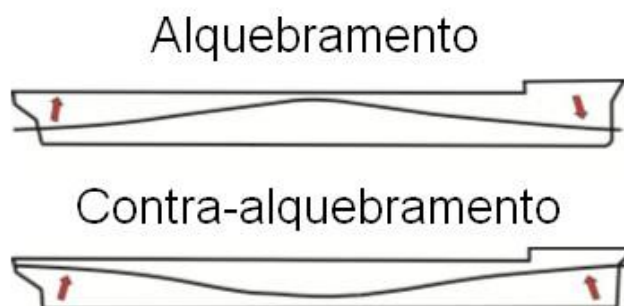
Durante as operações de carregamento e descarga do navio, é praticamente impossível deslocar simultaneamente os pesos a BB e a BE da linha de centro, e isso provoca um desequilíbrio, fazendo com que o navio aderne. Por ocasião das saídas e chegadas nos portos, os passageiros costumam correr para o bordo que está voltado para terra, e isso cria um peso descentralizado. Devido a suas grandes dimensões, o navio aderna poucos graus. Entretanto, em embarcações de recreio é

muito perigoso o acúmulo de passageiros em um único bordo, podendo levar a embarcação a um emborcamento.

A estrutura de um navio está sujeita à ação de diversas forças, incluindo forças prejudiciais, e seu casco sofre esforços de flexão provenientes de seu próprio peso, do aparelho motor, do combustível, da carga, da pressão dos ventos, da água e da ação das máquinas. Os navios mercantes são construídos especialmente para o transporte de carga e as peças estruturais são planejadas para oferecer resistência às forças deformantes, e a sua construção obedece ao critério da continuidade de resistência de casco a fim de alcançar uma estrutura na qual todas as partes sejam igualmente fortes em relação a todos os esforços.

O navio pode sofrer com forças de tração e de compressão em sua estrutura. De acordo com a distribuição de pesos a bordo e a variação das vagas, essas forças afetam diferentemente as partes do navio, deformando-o. Quando existe excesso de peso nas extremidades, o esforço de tração atua na parte superior do navio e o esforço de compressão, na parte inferior. Essa situação é chamada de alquebramento. Se o excesso de peso se encontra na região média do navio, a compressão atua na parte superior, e a tração na parte inferior, sendo chamado este momento de contra-alquebramento.

**Figura 5 – Esforços estruturais**



Fonte: Estabilidade para Embarcações Mercantes

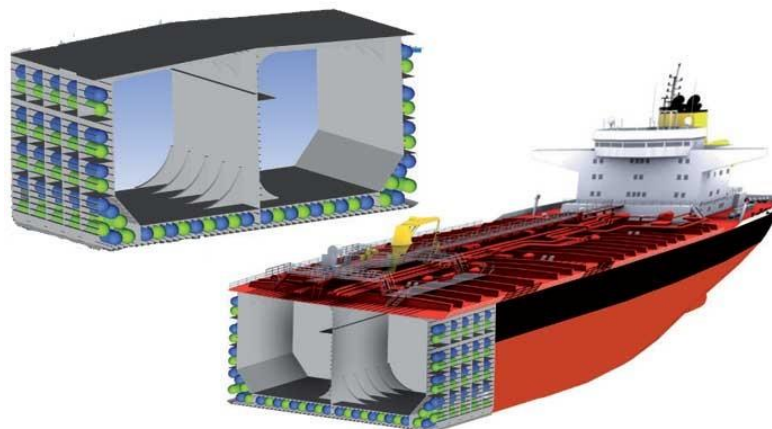
## 3 O PROJETO SUSY

### 3.1 Apresentação do Projeto

O projeto SuSy, abreviação utilizada para “Surfacing System for Ship Recovery”, surgiu em 2009, e pode ser traduzido como um sistema de flutuação para recuperação de navios. É composto de pesquisadores de nove organizações que se agrupam em um consórcio; são elas: BMT Group e a Universidade de Strathclyde, do Reino Unido; EADS Astrium, BALance Technology e DSB, da Alemanha; Hellenic Center for Marine Research (HCMR) e Universidade Técnica Nacional de Atenas (NTUA), na Grécia; Bureau Veritas e DCNS, na França. Apesar de ser um projeto europeu, os resultados serão aplicados à indústria marítima global, de modo que os países não diretamente envolvidos no projeto também podem se beneficiar.

SuSy foi idealizado para adicionar estabilidade a navios que estiverem com problemas, de forma a trazê-los rapidamente de volta à sua posição inicial de equilíbrio, evitando consequências prejudiciais à sua estrutura e integridade. O objetivo principal é a combinação de sistemas de ar pressurizado com a tecnologia de balões que possam inflar de forma rápida em momentos de emergência, criando uma possibilidade de estabilizar esses navios depois da ocorrência de um acidente.

**Figura 6** – Disposição dos balões por toda a extensão do navio



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Ele não apenas cria flutuabilidade de forma quase instantânea, pelo curto tempo em que pode inflar, como também é capaz de manter os balões cheios até que o navio esteja estável, e isso garante estabilidade em até dias, dando tempo suficiente para que as equipes de resgate possam chegar ao navio. Após o processo de inflação, a temperatura do gás nos balões diminui e o volume nos balões também. O ar pressurizado pode encher esses balões de forma contínua.

Esse sistema é como um air bag, e também é aplicado em situações de naufrágio, podendo adiar o afundamento completo e criar tempo suficiente para permitir que o mesmo seja evacuado, evitando a perda de vidas. Ele mantém o navio flutuando até que o socorro necessário possa chegar ao local, e com isso também evita derramamentos e poluições decorrentes do acidente. Há também uma grande economia de gastos, pois isso evitará a perda total de navios e poupará custos de investimento do proprietário em uma nova embarcação, e evita a perda de materiais e cargas que poderiam ter sido afetados caso a estabilização não tivesse ocorrido. É necessário que o sistema seja capaz de agir rapidamente para que o navio não chegue a um ponto em que não se possa mais recuperá-lo.

A partir de uma tecnologia criada originalmente para salvamento submarino, a equipe de pesquisa está desenvolvendo um sistema que poderá ser aplicado em inúmeras situações marítimas. A metodologia do projeto é a unificação desse sistema de recuperação utilizado em submarinos com um de ar comprimido e balões infláveis. Além dos casos já citados, SuSy também será utilizado no resgate de navios naufragados. Os balões inflados ofereceriam um empuxo ao navio, trazendo ele à superfície. Após a flutuação do casco anteriormente afundado, um navio de grande porte faz o transporte seguro desse casco até o porto designado. Neste caso, o navio de salvamento será um semi-submersível do tipo heavy lift com guindaste adequado ao peso que será carregado no convés.

Entre as situações previstas para atuação do projeto, algumas recebem um destaque especial e são consideradas como parte do objetivo principal das pesquisas. Os navios petroleiros estão enquadrados nesta categoria devido às grandes poluições que podem ser causadas em caso de acidente que tenham como consequência vazamento da carga, além da grande perda financeira. Também se podem destacar os navios Roll-on Roll-off (RoRo), que transportam veículos e



cargas rodantes, e têm sérias possibilidades de perda de estabilidade por causa da grande atuação do efeito de superfície livre em seu interior.

Também é considerada essencial a instalação desse sistema como medida preventiva em navios tanques que transportem cargas perigosas e possuem mais risco de avarias e problemas operacionais do que navios com outras cargas em geral. É considerada também a aplicação de SuSy para serviços de recuperação dos navios naufragados, sendo equipamentos fixos a bordo de navios pesqueiros que possam realizar tal tarefa ou como equipamentos móveis utilizados por equipes de resgate e salvamento. Além disso, a estratégia de proporcionar fluidez adicional em um compartimento danificado do navio, e não em um navio como um todo, também poderia ser uma utilização do sistema em vez de lastrar o lado oposto, podendo prolongar o tempo de sobrevivência e evitar resultados graves.

Para operações marítimas, as pesquisas se concentraram em integrar tecnologia robótica submarina e avançadas ferramentas e aparelhos mecânicos que pudessem intervir de forma efetiva em situações de necessidade. O projeto também inclui atividades para desenvolvimento de um modelo de simulação de acidentes que possa ser utilizado para prever esses acidentes e testar possíveis intervenções e suas consequências.

Muitas pesquisas também foram realizadas com o objetivo de ultrapassar os desafios impostos pelo projeto para chegar ao resultado final positivo, como desenvolver de um modelo hidrodinâmico que atendesse aos possíveis cenários, encontrar os materiais adequados para aplicação de acordo com a temperatura e a pressão necessária, definir um modelo de custo aceitável pelas empresas, desenvolver as técnicas específicas para o sistema em navios naufragados, e principalmente testar as tecnologias de acordo com o desenvolvido.

Os cenários utilizados como base nas pesquisas foram selecionados por serem propensos a ter um maior potencial de redução dos danos ambientais se esse sistema estiver disponível, de acordo com uma análise técnica de benefícios e desvantagens para os mesmos. Mas nem todos os cenários puderam ser testados em condições reais de mar, portanto alguns foram analisados apenas de forma teórica a partir de softwares específicos para este fim.

Na definição das ocasiões onde SuSy será útil, importantes características específicas foram consideradas de forma a cobrir todas as possibilidades que podem ter impacto sobre as operações. Como a maioria delas é realizada na superfície, com apenas uma fração realizada no fundo do mar, os fatores ambientais e climáticos podem afetar negativamente o funcionamento do sistema. As principais condições do ar que influenciam essas situações incluem vento, trovões, precipitação, visibilidade e temperatura. Em relação ao mar, exercem influência as ondas, correntes, alturas das marés, salinidade da água e profundidade.

Testes em mar aberto foram realizados para provar os conceitos e validar a utilidade operacional do sistema, proporcionando a oportunidade de se tomar todas as medidas necessárias para a concepção de sistemas maiores, em larga escala. Com base nas medições da fase de teste, foi possível analisar os vários casos de aplicação para diferentes tipos de embarcação.

### **3.2 Planejamento do Projeto**

O projeto foi dividido em sete etapas visando uma melhor organização para cumprimento do cronograma necessário, e essas etapas foram chamadas de “work packages” (WP), que seriam pacotes de trabalho. Dentro de cada um deles, encontram-se objetivos mais específicos nomeados “tasks”, como tarefas, que foram pesquisas direcionadas para obtenção do objetivo geral proposto pelo work package correspondente. Com isso, pode-se dividir as pesquisas, os estudos e as responsabilidades entre as organizações componentes do projeto, de forma a concentrar os esforços necessários em cada parte especificamente. Muitas tarefas foram realizadas pelas empresas em cooperação, por seus departamentos relacionados, sempre visando o mais satisfatório e eficaz resultado final.

Foi definido no WP1, com quatro tarefas, o cenário e análise do histórico de acidentes. A primeira tarefa foi a análise de acidentes em navios, onde foram coletados inúmeros dados para classificar as condições de maior necessidade de abordagem e fornecer uma melhor descrição de cenários aplicáveis no mundo real. A segunda foi a definição dos tipos de acidentes que seriam adequados para um

conceito de resgate através de criação de fluutuabilidade. Na terceira, a estruturação dos acidentes e definição dos cenários. Na quarta, a avaliação dos cenários de acordo com a especificação do conceito do sistema, garantindo adequação no ponto de vista regulamentar e ambiental.

No pacote WP2, também com quatro tarefas, foi feito o estudo da viabilidade e da definição dos conceitos do sistema SuSy, estudando seus componentes técnicos através de testes de laboratório e esboço do projeto. Na sua primeira tarefa, foi feita a análise dos diferentes meios de geração de fluutuabilidade, resultando em uma série de tabelas detalhando as propriedades químicas e termodinâmicas dos sistemas que permitiram a comparação das características de desempenho. Em sua segunda tarefa, análise de materiais adequados para os transportadores de fluutuabilidade de acordo com a resistência de temperatura, o peso do material e as propriedades de fabricação. A terceira determinou o desenho do projeto a partir de uma perspectiva de arquitetura naval. Na quarta, esse conceito foi aplicado de acordo com os cenários anteriormente definidos.

O WP3 abordou o sistema de simulação e realização dos conceitos, transformando os projetos conceituais do WP2 em projetos completos de engenharia. Dividido em seis tarefas, exigiu cálculos termodinâmicos e hidrodinâmicos bem detalhados, que finalmente puderam definir os planos iniciais de demonstração. A primeira tarefa se encarregou do teste de avaliação dos pacotes de combustível e sua combinação com ar de alta pressão. A segunda, avaliação dos materiais de flutuação. Na terceira, foram feitos os projetos das diferentes tecnologias de fixação considerando os aspectos operacionais. A quarta foi responsável pelo desenvolvimento dos dispositivos de flutuação e unidades de combustível para os diferentes casos. Na quinta tarefa foi desenvolvido um sistema de simulação para planejamento das situações de utilização. Na sexta, foram feitas as especificações para o cenário demonstrador.

Com cinco tarefas, o WP4 foi designado para realização do demonstrador, traduzindo os desenhos de engenharia do sistema SuSy em um desenvolvimento de protótipos em funcionamento. A primeira tarefa se resume em uma definição de um plano de teste, validando os parâmetros operacionais em condições reais. A segunda foi uma tarefa prática e organizacional de preparação para os testes de

mar. Na terceira, ocorreu a montagem do pacote integrado e suas instalações internas e externas. A quarta foi o teste de mar efetivo, enquanto o trabalho da quinta tarefa foi a avaliação das medições e resultados encontrados.

O WP5 possui apenas três tarefas e consiste no cálculo de custo do ciclo de vida do sistema SuSy e levou em consideração os projetos conceituais do WP3, modelando as consequências ambientais, econômicas e de segurança no caso de adoção ou não do sistema para uma gama de cenários e tipos de navios. Na primeira tarefa teve-se a definição dos parâmetros do custo do ciclo de vida. A segunda foi responsável pelo desenvolvimento de um sistema de software utilizando um programa específico chamado RCP, Rich Client Platform, como plataforma de base para construir o modelo do projeto, podendo produzir gráficos de variáveis em função do tempo. A terceira se encarregou dos cálculos de custo ciclo de vida para os diferentes cenários.

Também com três tarefas, o WP6 foi definido para divulgação do sistema SuSy e aumentou o conhecimento das empresas sobre o projeto, além de gerenciar as relações com as partes científicas interessadas e assegurar a divulgação do sistema entre a comunidade marítima e científica. A primeira tarefa é responsável pelas medidas de conscientização e conferências com apresentação de trabalhos sobre o projeto em diversos eventos. Na segunda, ocorreram algumas demonstrações abertas à visitação pública. No entanto, por razões de segurança, apenas alguns representantes de empresas foram convidados para participar dos ensaios. A terceira consistiu no plano de implementação da tecnologia dos produtos adaptados e desenvolvidos. Foi incluída nesse WP a obtenção das patentes como uma importante etapa para proteger o conceito do sistema e permitir a exploração segura dos resultados.

Por último, o WP7 consistiu no gerenciamento do projeto, sendo puramente administrativo, e resume-se em gestão jurídica e administrativa e garantia de qualidade. Implica na produção dos planos do sistema, planos de qualidade e relatórios de gestão diária pelo consórcio. Isso pode ser resumido como organização dos encontros com os parceiros do projeto e coordenação das necessidades de SuSy. Também é coberto por esse WP a administração no que diz respeito aos contratos, alterações em etapas, controle financeiro e relatórios constantes.

## 4 ESTUDOS RELATIVOS AOS BALÕES

### 4.1 Sistemas de Geração de Gás

A ideia do projeto SuSy em obter os gases necessários para inflar os balões é a partir da utilização de geradores de gás em diferentes circunstâncias para criar flutuação adicional. Essas forças de flutuação criadas serão as responsáveis pela estabilização das embarcações, e, como existem aplicações para diversos cenários, é necessário que se estabeleça o tipo de unidade geradora que melhor se adequará a cada situação.

A expansão dos gases sob pressão é uma importante característica a ser considerada para se ter uma ideia sobre o melhor e pior desempenho e, conseqüentemente, a capacidade de produção de um volume de gás. Esse aspecto é analisado de acordo com cada sistema, que pode ser criogênico, catalítico ou de propulsão de líquidos e sólidos. Porém, todos eles atingem temperaturas de gás elevadas por causa de processos de decomposição ou combustão química que ocorrem dentro dos geradores.

Estudos e testes foram feitos com diferentes tipos de sistema de geração de gás considerando um fator que foi chamado de “fator do sistema”, expressando uma razão entre o volume de propelente armazenado dentro do gerador e o volume total do sistema. Foi observado que para o sistema pressurizado preenchido com gás, esse fator apresentou o valor de 0,9, enquanto que o sistema pressurizado preenchido com gás liquefeito apresentou 0,75. O sistema criogênico mostrou um valor de 0,7. A Astrium projetou um sistema catalítico abastecido por líquido, que apresentou um fator de 0,4, e um sistema abastecido por sólido, com fator 0,8.

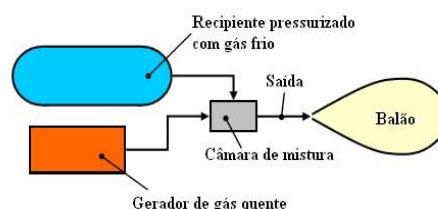
Devido ao grande número de possíveis tipos de propelentes aplicáveis e combinações, algumas exigências foram definidas antes de se levar em conta as considerações teóricas. Essas restrições foram necessárias para a escolha do melhor sistema de geração de gás qualificado para as aplicações desejadas. São algumas delas: não utilização de gases combustíveis, oxidantes ou inflamáveis em

nenhuma mistura de ar, nem tóxicos e corrosivos, e também gases que possam levar a problemas respiratórios em casos de inalação. Foi concluído que sistemas criogênicos e sistemas catalíticos não poderiam ser utilizados.

Foi questionado, então, se seria possível desenvolver um dispositivo de refrigeração adequado para fluxos quentes de gás. Para as seguintes investigações, se determinou que a temperatura ambiente deve ser de 20° C, e, logo, a temperatura inicial do sistema também, enquanto a temperatura desejada do gás na saída do sistema e no interior do balão deve ser de 25° C. A partir disso, foi considerada três possibilidades para arrefecer um fluxo de gás quente para a temperatura desejada. Em primeiro lugar, pela mistura do fluxo quente com um fluxo frio; em segundo lugar, através da transferência de calor do fluxo quente diretamente em um meio frio; e, em terceiro lugar, por troca indireta de calor através de uma parede sólida para um meio frio. A combinação de uma unidade geradora de gás quente e uma unidade de arrefecimento deve ser chamada de “sistema combinado”.

O princípio do primeiro conceito é a mistura de um fluxo de gás quente com uma corrente de gás frio em uma razão pré-definida para conseguir a temperatura desejada na saída, que vai se situar entre a temperatura do gás quente e a do gás frio, dependendo da relação da mistura. Os cálculos realizados para este tipo de sistema mostraram que seu desempenho é bastante próximo do desempenho de um navio pressurizado, considerado sob o aspecto de um processo de expansão isotérmica.

**Figura 7** – Geração de gás com mistura de fluxo quente com fluxo frio

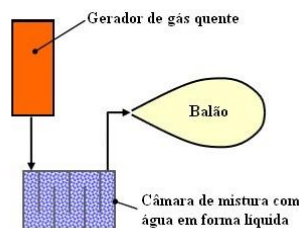


Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

O segundo conceito se baseia na mistura de um fluxo de gás quente com água fria em estado líquido. O gás quente vai para dentro de uma câmara de mistura que é preenchida com água líquida, e o calor do gás é absorvido pela água sem que ocorra vaporização. O volume da câmara é maior que o volume da água, pois o fluxo

de gás necessita de um espaço para preencher. Esse volume vazio, chamado de ulagem, no interior da câmara é necessário para evitar que a água seja carregada com o gás para dentro do balão. A razão entre as massas de água em estado líquido e de gás quente define a temperatura do gás arrefecido na saída. A água líquida é escolhida devido às suas características de boa capacidade de calor, não toxicidade e disponibilidade. Em comparação com os outros sistemas, o desempenho deste foi o melhor.

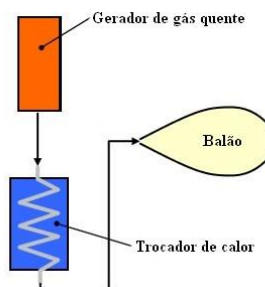
**Figura 8** – Geração de gás com mistura de fluxo quente com água líquida



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

O terceiro conceito considera uma troca de calor entre o gás e uma área fria ao seu redor por meio de um trocador de calor. Porém as investigações feitas mostraram um mal desempenho do sistema. A sua única vantagem seria uma menor perda de componentes de gás devido aos efeitos da solução, pois não há contato direto entre o gás e o fluxo de água, mas ela não é capaz de aumentar o desempenho do sistema de uma forma necessária.

**Figura 9** – Geração de gás com troca de calor entre gás quente e água fria



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

É possível também combinar um gerador de gás com um turbocompressor de alta energia, baseando-se na ideia de utilizar o fluxo de alta entalpia de unidades de

produção de gás quente para comandar um turbocompressor que puxa o ar a sua volta para aumentar o fluxo de saída de gás para o balão. A possibilidade seria o fluxo proveniente do gerador ser misturado com o fluxo de gás do compressor. Mas, por causa da temperatura ainda elevada do gás na saída da turbina, a temperatura da mistura gasosa (gás de escape da turbina com o fluxo de ar do compressor) também será elevada. Neste caso, para arrefecimento dos gases também seria utilizada a câmara de mistura, porém o tamanho dessa unidade diminui drasticamente o desempenho do sistema, assim como a baixa pressão de saída do compressor também traz resultado negativo.

Uma análise foi conduzida para descobrir que tipo de sistema combinado seria o melhor para o tipo de aplicação requerido pelo projeto. Com esse objetivo, foram analisadas características do sistema como custos, tamanhos, pesos, tempo de inflação e aplicabilidade, que são de grande interesse e devem ser conhecidas. Além dos custos de materiais, também são considerados os custos dos propelentes. Foi visto que os gasosos, incluindo os gases atmosféricos liquefeitos como o CO<sub>2</sub>, são o tipo mais barato de propelente, e como são preferíveis baixos custos com a produção de gás, os sistemas de gases liquefeitos são os melhores. Também são preferíveis os sistemas de alto valor de desempenho, razão pela qual o sistema de jatos de gases quentes é considerado o melhor e o sistema pressurizado, o pior. Em relação ao peso das unidades de produção, os melhores sistemas também são os de gás liquefeito, sendo os de propelentes sólidos os piores.

Algumas aplicações necessitam de sistemas geradores de gás que encherão os balões de forma mais lenta, considerando minutos, e outras aplicações utilizarão sistemas que vão encher os balões de forma muito rápida, em questão de segundos. A característica a ser considerada neste caso será a possibilidade de criação do projeto. Sistemas que possam ser desenhados e projetados facilmente serão classificados como uma boa escolha, independente do tempo de inflação dos balões. A aplicabilidade do sistema será determinada de acordo com cada situação, pois podem requerer diferentes atuações do sistema que só se classificam de forma positiva para esta determinada situação, e não para todas.

Levando-se em conta todas as avaliações realizadas, o sistema de gás pressurizado, apesar de não ter a melhor performance em alguns quesitos, é a



melhor opção para a estabilização de navios de pequeno e grande porte, seguida de perto pela combinação de gases quentes com gás pressurizado ou gás liquefeito. Mas, pelo fato de a combinação de gás pressurizado com gás quente parecer a melhor aplicação para águas profundas, este conceito também foi considerado importante para o projeto.

Foi concluído, depois de todas as considerações e dos diferentes arranjos desenhados de acordo com os requisitos, que a solução ideal para todas as aplicações do projeto é a combinação de gás pressurizado com um pequeno gerador de gás automotriz sólido funcionando como fonte de calor, que foi selecionado para o sistema. Esse pacote desenvolvido pelo projeto foi testado durante as pesquisas e, depois de seu resultado favorável, patenteado pela Astrium.

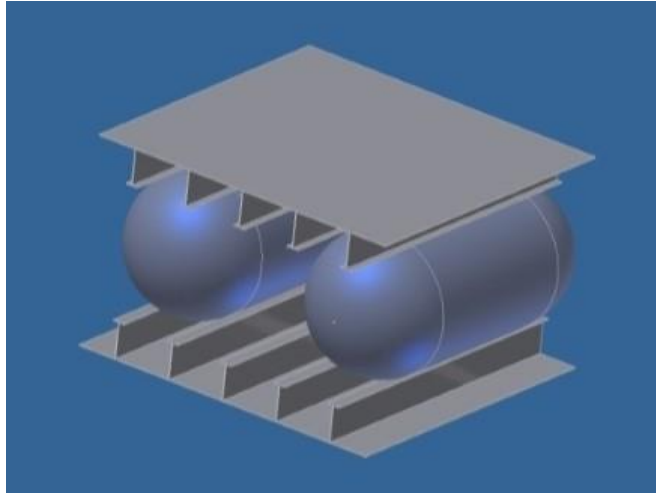
#### **4.2 Locais de Instalação dos Balões**

Para o funcionamento eficaz do sistema SuSy, existe uma questão essencial que deve ser abordada: onde devem ser instalados os dispositivos necessários. De acordo com os estudos realizados pelas empresas responsáveis, o projeto foi desenvolvido para ser possível uma instalação fixa a bordo de um navio, onde o sistema seria acionado antes ou depois de alguma situação de perigo, e também para funcionar como um equipamento móvel, onde o sistema seria anexado ao navio após um acidente pelas equipes de resgate, que o transportariam até o local da embarcação que precisa de ajuda. Os dois métodos de instalação foram testados no mar, e todos os reparos efetuados.

No caso de uma instalação interna, a bordo de um navio onde haja espaço suficiente, os locais considerados adequados para os balões seriam entre o casco duplo ou nos tanques de água de lastro, com balões de formato cilíndrico para aumentar o espaço para inflação. Como esse modelo é pré-instalado, alguns parâmetros precisam ser considerados. O sistema deve possuir um controle automático, para que possa ser acionado do passadiço ou do centro de controle operacional do navio, e a velocidade de inflação deve ser capaz de proporcionar a inflação mais instantânea possível. É importante também se considerar o alívio da

pressão, mantendo um equilíbrio entre a pressão externa e interna, impossibilitando a existência de impactos que comprometam a resistência estrutural do fundo duplo.

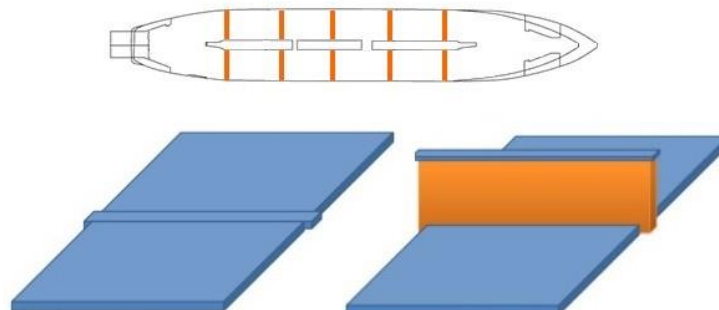
**Figura 10** – Instalação interna de balões no fundo duplo



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Outro conceito foi desenvolvido especialmente para navios RoRo, com estruturas verticais que se assemelhariam a cortinas e funcionariam como barreiras pra prevenir o emborcamento de navios por causa do efeito da superfície livre, impedindo o movimento da água nos conveses onde existisse carga rodante. Essas barreiras inseridas na estrutura do navio se projetariam para cima quando ativadas e se acoplariam no navio quando não estivessem em funcionamento.

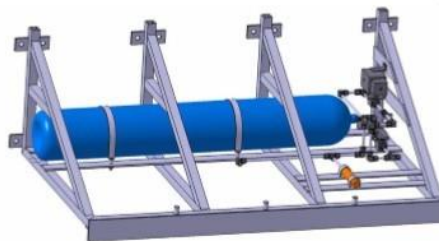
**Figura 11** – Cortinas desativadas e ativadas no convés do navio RoRo



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Foi visto também a possibilidade de instalar os balões fora do casco dos navios, quando a instalação interna não for adequada. Para as tarefas de salvamento e resgate de navios naufragados, os balões são transportados por equipes de salvamento até o local, e são anexados do lado de fora das estruturas afundadas por mergulhadores ou ROV's (veículos remotamente operados). Utiliza-se um balão esférico acoplado a um gerador de gás, e o conjunto é colocado no casco do navio. Um controlador de base foi desenvolvido para garantir que a elevação seja lenta e suave, evitando causar forte balanço e caturro e, conseqüentemente, danos estruturais ao navio, impossibilitando sua recuperação. Para uma subida estável e segura, a taxa de fluxo do volume de enchimento é controlada por um sistema de controle automático.

**Figura 12** – Esquema da unidade externa geradora de gás



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Em alguns casos de naufrágio, não é possível fazer o resgate completo, sendo necessário o corte da estrutura em pedaços que possam ser transportados pelos guindastes a bordo dos navios de salvamento. Além disso, é preciso analisar qual é o local apropriado para anexar o dispositivo, que pode ser aparafusado ou soldado no casco, pois é possível que a embarcação resgatada se danifique durante a operação caso ocorra uma concentração de cargas que comprometa suas forças estruturais. A escolha do lugar de fixação desempenha um papel significativo na resposta da operação. Depois de sua utilização, SuSy é transportado de volta para seu local de armazenagem, onde é feita a manutenção necessária e preparação para a próxima missão.

## 5 EQUIPAMENTOS

### 5.1 Tipos de Mergulho

Várias tecnologias de fixação dos dispositivos de flutuação do sistema SuSy foram estudadas, considerando seus aspectos operacionais. Estes aspectos estão fortemente relacionados com as limitações de mergulho, capacidade dos mergulhadores, veículos subaquáticos e suas ferramentas. Técnicas e métodos existentes foram transferidas em desenhos e protótipos para serem desenvolvidos a trabalhar dentro das limitações dos mergulhadores e dos veículos submarinos. Uma vez que o método de utilização é escolhido, as ferramentas de salvamento adequadas são selecionadas de acordo. Não existe lista de máquinas obrigatórias, pois a escolha depende do tipo de trabalho a ser conduzido.

Foram selecionados três casos particulares para pesquisas específicas. O primeiro é a colocação do sistema externamente no casco do navio enquanto ele ainda está flutuando. No segundo, o sistema será colocado por robôs submarinos no casco do navio ou em outros locais adequados depois de um acidente, e o terceiro é a colocação do equipamento por mergulhadores. Os casos 2 e 3 podem ser resumidos como “trabalhos submarinos”; porém, apesar de possuírem várias características em comum, existem grandes diferenças em aspectos técnicos e operacionais específicos.

No que diz respeito ao caso 1, quando é implantado externamente como parte de uma operação de salvamento onde o sistema não foi previamente instalado, cuidadosas considerações que envolvem a fixação no casco devem ser feitas. Devem ser aplicados procedimentos rápidos, simples e seguros, e os dispositivos devem ser leves e com pequeno volume, capazes de serem facilmente manipulados pelo homem. As condições ambientais são perigos crescentes na estabilidade dos navios danificados. Os casos 2 e 3 constituem uma parte significativa da maioria das operações de salvamento. Pelo termo “trabalhos submarinos” se entende o trabalho realizado por mergulhadores, sistemas tripulados e veículos remotamente operados,

que vai desde simples inspeções, por levantamentos completos e detalhados, até o trabalho industrial de corte, solda, montagem, perfuração, entre outros.

As operações de mergulho podem ser realizadas de águas rasas até locais de grandes profundidades. O mergulho comercial normal é realizado com gases fornecidos por superfície com conexão a sistemas de comunicação e câmeras, em alguns casos, todos vinculados em um feixe de cabos. O mergulhador pode entrar diretamente a partir da superfície ou ser transportado para a profundidade de trabalho por uma plataforma ou sino de mergulho, utilizando ar comprimido em águas rasas para curto período de tempo e várias misturas de gases, com diferentes combinações de oxigênio, nitrogênio e hélio, em águas mais profundas que 50m. Em águas profundas por períodos mais longos de tempo, são usados os sistemas de saturação, onde o mergulhador é mantido em uma câmara de pressão sobre a superfície durante semanas, com visitas diárias a área de trabalho através de um sino de mergulho pressurizado. Os sistemas de saturação podem envolver um número de mergulhadores trabalhando em turno.

De um modo geral, os limites para as operações de mergulho são ventos de força 4 Beaufort, altura máxima de onda de 1 metro e visibilidade embaixo d'água melhor que 1 metro. A seleção do sistema depende do tipo de trabalho e inclui considerações sobre a profundidade operacional, a duração das operações de mergulho, as condições ambientais, a disponibilidade do sistema e o orçamento, com aluguel de vários equipamentos e suas despesas diárias de funcionamento.

Os mergulhadores são, provavelmente, a melhor, mais eficiente e flexível maneira de realizar o trabalho debaixo d'água, pois robôs sofisticados e ROVs não conseguem substituir o discernimento do olho humano e a destreza da mão em um mergulho de resgate. No entanto, o mergulho é limitado em termos de profundidade e duração, mesmo com sistemas mais complexos. Também se limita em relação as cargas, a menos que estruturas de superfície sejam capazes de suportar o peso dos pesados equipamentos subaquáticos.

**Figura 13 – Traje de mergulho**

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 14 – Sino de mergulho**

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Os sistemas tripulados submersíveis normalmente não são considerados nas operações de salvamento de hoje por causa de seu alto custo, necessidade de manutenção, grande tamanho, afetando as especificações das embarcações de apoio, falta de habilidade, duração operacional limitada e pouca disponibilidade. Os trajes de mergulho são resistentes à pressão e possuem umbilicais ligados à superfície, provendo energia, comunicações e funcionando como uma linha de recuperação. Os braços terminam em garras que são capazes de operar uma série de ferramentas. As câmeras colocadas no traje permitem o controle direto a partir da superfície.

Os sistemas tripulados têm melhor capacidade de profundidade do que os mergulhadores e são utilizados para mais de 600 m por uma série de empresas de mergulho comercial. Eles oferecem um alto grau de proteção ambiental, embora tenham menor capacidade de destreza e manobrabilidade. Porém, esses sistemas não são normalmente utilizados para trabalhos de salvamento. Existe um risco elevado de pessoal na água, assim como no mergulho, e se torna um assunto mais importante do que com o uso de sistemas remotos.

Os sistemas remotamente operados são os ROVs, que não são tripulados, e os robôs submarinos altamente manobráveis operados por um piloto a bordo de um

navio na superfície. Eles estão ligados ao navio por um cabo umbilical de controle e transporte de dados, bem como conduções elétricas. A maioria é equipada com, pelo menos, luzes e uma câmera de vídeo. Alguns equipamentos especiais são comumente adicionados para expandir as capacidades detecção e intervenção do veículo, como múltiplas câmeras, de vídeo ou HDTV, luzes de LED, sistemas de sonar, braços mecânicos, sensoriamento ambiental e outros. Os tamanhos e as configurações podem variar de pequenos veículos para inspeções em águas rasas para grandes sistemas de águas profundas, capazes de grandes funções de intervenção.

O uso da robótica em operações submarinas é a melhor solução para condições extremas como águas muito profundas e operações longas, onde as operações tripuladas são perigosas e incluem altas despesas. A profundidade do mergulho é limitada pela classificação do veículo e o tamanho do cabo de mergulho, enquanto a duração é limitada pela capacidade do navio em ficar posicionado corretamente no local de trabalho. Os ROVs podem transportar e prover energia às suas próprias ferramentas, e podem trabalhar em condições de visibilidade reduzida com holofotes e câmeras de visão noturna ou sonares em condições de água turva. Há possibilidade de supervisão ilimitada com visão ao vivo a bordo do navio de apoio, e também pode fazer transmissão para estações em terra se as conexões via satélite ou internet estiverem disponíveis. Eles têm desvantagem sobre os mergulhadores devido à sua capacidade inferior de resposta em manobras e ângulo de visão limitado, além da sua destreza limitada.

Para utilização no conceito de SuSy, as limitações físicas e mecânicas dos diferentes tipos de sistema de mergulho devem ser consideradas para qualquer procedimento de fixação. Para sistemas de ROV, em particular, as limitações do sistema de manipulação são o principal fator que rege as operações de fixação. Isso inclui a capacidade de carga, os graus de liberdade, o tipo de garra existente e o espaço operacional, definido pelo alcance dos graus de movimento. O sistema de manipulação deve ser capaz de colocar o sistema SuSy no lugar, anexá-lo, e, se necessário, iniciar sua operação, no caso de não ser controlada remotamente.

**Figura 15** – Exemplo de ROV

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 16** – Vista do trabalho do ROV

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

## 5.2 Materiais de Construção e Inspeções

Os materiais utilizados para construir os sistemas de fixação devem ter bom desempenho dentro do ambiente marinho, com comportamento mecânico capaz de suportar cargas aplicadas de forma segura. Devem ser tomados cuidados especiais para evitar reações eletroquímicas com outros materiais metálicos ou com os anodos de proteção. Os materiais de utilização mais comum para estruturas metálicas são vários tipos de ligas de aço e alumínio. Enquanto o alumínio é leve, tem resistência a corrosão limitada na água do mar e requer manutenção e revestimento. O aço inoxidável, por outro lado, é reconhecido como material de primeira qualidade para aplicações marinhas por sua excelente resistência a corrosão, força e rigidez. Também são utilizados para as peças de fixação cabos, fios e linhas de diversos tipos de material.

Os metais são mais propensos a corrosão em ambientes marinhos por formação de células galvânicas, causadas por anodos e catodos formados entre metais próximos ou o mesmo metal, por erosão dos produtos de corrosão, onde a retirada dos produtos oxidados pela ação das ondas provoca degeneração mais rápida dos produtos de substituição, e por negligência e inadequação de vigilância preventiva e manutenção por parte dos proprietários. Além desses, existe uma



grande quantidade de materiais usados onde é possível citar fios, cabos e seus acessórios, correntes e conectores, manilhas, elos móveis e giratórios, cabos de fibra natural ou fibra sintética.

A engenharia dos salvamentos também se preocupa com a análise das forças estruturais locais do casco danificado. São feitos diagramas para determinar as forças atuantes, suas tensões principais e combinadas, comparar os níveis de força para considerar um limite, e determinar medidas no caso de falhas ou fatores de segurança inaceitáveis. As conexões ligadas por solda, rebite ou parafusos são consideradas uma descontinuidade na estrutura e, por isso, devem ser analisadas de forma independente da estrutura global.

Inspeções devem ser realizadas em todos os dispositivos de fixação com o objetivo de verificar a existência de rachaduras, deformações, áreas com quebra de materiais e corrosão, antes da primeira utilização e a cada vez que o dispositivo for usado. Serão feitas por pessoal qualificado de acordo com procedimentos técnicos operacionais determinados. As inadequações devem ser documentados e, se verificado um risco de segurança, deve ser corrigido o mais rápido possível antes do dispositivo ser utilizado. São feitas inspeções diárias, quando os sistemas serão utilizados, e inspeções periódicas, pelo menos uma vez ao ano. Nessas inspeções anuais são verificadas as condições dos cabos e correntes de aço e dos cabos de fibra natural e sintética, para verificar as boas condições dos mesmos.

### **5.3 Ferramentas Submarinas**

A seleção correta das ferramentas submarinas é essencial para que o processo de fixação seja seguro e bem sucedido. Quase todas as ferramentas usadas em superfície podem ser utilizadas na água, porém, o mergulhador precisa estar posicionado firmemente em seu local para usá-las de forma eficaz. Ferramentas que precisam de alimentação de energia são eficazes e podem ser utilizadas por sistemas robóticos. As elétricas foram construídas para se adequar ao uso na água, mas a complexidade em fazê-las eletricamente seguras resultou em ferramentas grandes e caras com baixo consumo de energia. As ferramentas

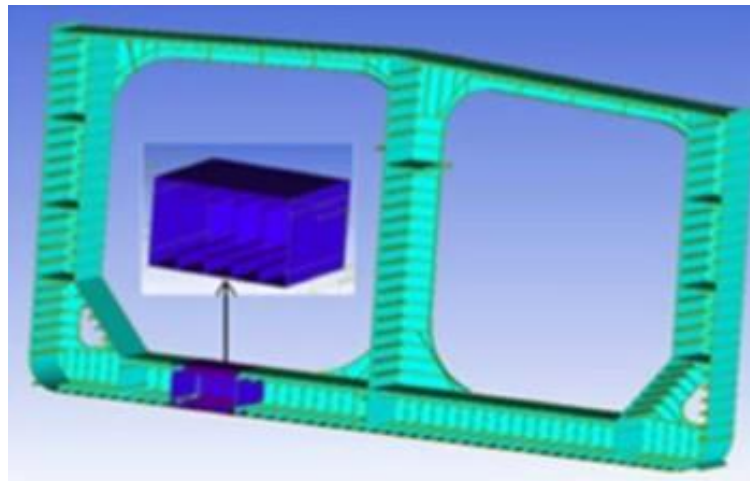
pneumáticas podem ser utilizadas, sofrendo apenas uma pequena perda de eficiência causada pela aspiração de ar à pressão ambiente na profundidade de utilização. As mais eficientes para utilização submarina são as hidráulicas especialmente feitas para este fim, e estão disponíveis em uma grande variedade.

Os ROVs utilizam ferramentas para manuseio, corte e inspeção, com braços manipuladores capazes de selecionar e segurar ferramentas posicionando-as no local correto. Para os mergulhadores, todas as ferramentas manuais utilizadas em terra podem ser usadas na água. Soldagens submarinas são práticas comuns, embora deva ser tomado muito cuidado por existir perigo de tensões elétricas para mergulhadores e ROVs. Devem ser realizadas sob condições muito bem controladas onde o processo é praticamente automatizado por completo.

## 6 TESTE DE MAR

Com o objetivo de validar os parâmetros operacionais do projeto SuSy, foram realizados testes em situação de mar aberto de modo a utilizar condições reais de fluxo de água. Nesta tarefa foram incluídas a concepção e construção da plataforma de teste, instrumentação da plataforma, instalação dos pontos de fixação, organização logística, classificação de segurança e testes de pressão de equipamentos, obtenção de autorizações pertinentes, ligação com empresas locais para fornecimento de pessoal, compressores, guindastes e outros equipamentos, e por fim a definição de programa de testes. Para isso, uma estrutura de duplo fundo foi construída em escala 1:1 com as medidas reais baseadas em um modelo de petroleiro Aframax para ser afundada no mar e resgatada pelo sistema, pois supõe-se que, se o conceito for provado para esta seção, poderá ser aplicado em qualquer parte da estrutura do navio.

**Figura 17** – Modelo da estrutura para o teste de mar



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

Esse modelo foi selecionado devido ao grande número de falhas estruturais não acidentais, como fissuras, por exemplo, que são conhecidas neste tipo de navio e que, às vezes, podem levar ao comprometimento da integridade estrutural de um petroleiro. A medida mais comum de lidar com essas falhas é através de lastro ou transferência de carga. Embora essas medidas acrescentem estabilidade ao navio, seus efeitos sobre a estrutura do navio danificado são em alguns casos prejudiciais,

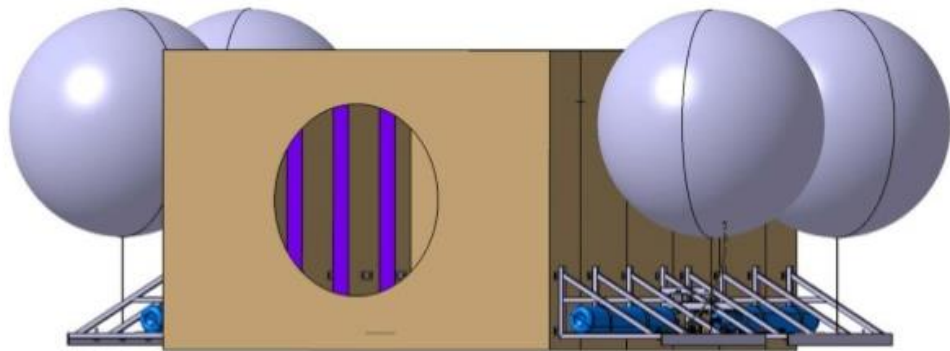
pois podem levar a momentos de flexão excessivos sobre uma seção específica do navio e aumentar os danos. A vantagem de utilizar o sistema SuSy para esse tipo de embarcação é que ele adiciona flutuabilidade ao navio sem criar momentos de forças estruturais.

Foram testados nesta demonstração os dois tipos de balões, internamente e externamente acoplados, com gases de alta e baixa pressão. O duplo fundo possui dois grandes furos em sua lateral, a fim de facilitar o escoamento da água quando os balões forem inflados internamente. A estrutura foi monitorada por vários aparelhos durante a inflação dos balões e quatro registradores de dados foram usados no sistema de aquisição de dados, o que proporcionou uma resolução suficiente dos eventos gravados sem comprometer o sistema por sobrecarga. É interessante citar que, antes de ir para mar aberto, os testes foram conduzidos num ambiente controlado em situações laboratoriais no NTUA, a fim de determinar a eficiência do procedimento e se seria possível reproduzi-lo no mar.

## **6.1 Parâmetros Analisados**

Esses testes foram realizados no estaleiro de Chalkis, na Grécia, em um período de cinco dias. Para todos os testes e trabalhos de preparação, o estaleiro ofereceu apoio em termos de instalações e pessoal como, por exemplo, recebimento e devolução de equipamentos, áreas de armazenamento, áreas de trabalho, corte e solda de metais, capacidade de levantamento e transporte de grandes pesos, acesso controlado ao mar e acesso à loja de folhas de metal do estaleiro, uma grande área com facilidade de levantamento de materiais e espaço para cortes e soldagens. Quatro demonstrações foram planejadas para a ocasião, com um teste de balões internos e inflação lenta, balões internos e inflação rápida, balões externos e inflação rápida, e balões internos com inflação rápida e um ângulo de inclinação da plataforma.

**Figura 18** – Esquema técnico da plataforma para testes



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

No primeiro dia, foi feita a instalação das unidades externas para resgate na estrutura de fundo duplo e também a instalação dos balões internos. No segundo dia, o fundo duplo foi transportado até o cais e conectado a um sistema de baixa pressão. A estrutura foi afundada na água, checada por um mergulhador, e os balões internos foram inflados. Rapidamente, a plataforma emergiu. No terceiro dia, foi feito o teste com um sistema de alta pressão e balões internos, colocado de forma horizontal na água. De forma igual, a plataforma emergiu e os balões não demonstraram nenhum tipo de dano. Foi feito um segundo teste neste mesmo dia com o fundo duplo com uma inclinação angular, e a plataforma emergiu, porém o processo foi interrompido por avarias em um dos balões.

No quarto dia, foi realizado o teste com balões externos e alta pressão, que também tiveram excelente resultado, trazendo a plataforma para a superfície. O último dia foi uma repetição do segundo teste do terceiro dia, onde a plataforma é colocada na água com uma inclinação. Neste, os balões apresentaram perfeito estado após levantar a plataforma, sem nenhuma avaria. No total de cinco dias, foram 12 inflações de balões. Houve a incidência do balão que apresentou furos, mas a razão para tal incidente foi identificada, corrigida e o segundo teste foi concluído com êxito. A partir desse, foi notada a necessidade de estruturas lisas nas áreas de inflação que os balões ocupam para prevenir possíveis avarias aos mesmos e foi observado que a inflação de um pode afetar a inflação do balão ao lado, por isso é necessário o estudo de uma colocação eficaz nos espaços selecionados.

## 6.2 Resultados

Os resultados dos testes possibilitaram uma série de conclusões sobre o sistema SuSy e suas aplicações. Os geradores de gás utilizados para as situações do teste foram aprovados por suas atuações positivas. Foi determinado que os balões para fixação externa devem ter as dimensões de 2 m de diâmetro, 6 m de comprimento e um volume de 18,4 m<sup>3</sup>. A localização dos balões também foi uma característica de grande importância na análise, e os desenvolvedores ficaram satisfeitos com o que foi apresentado pelo sistema. Os testes foram bem sucedidos e determinaram a boa aceitação do projeto.

Infelizmente, uma das situações iniciais estabelecidas para investigação não apresentou bons resultados. O conceito de cortinas de balões nos conveses de navios que transportam veículos e cargas rodantes para diminuir os efeitos causados pela entrada de água não mostrou boa atuação. Foi criado um modelo para as avaliações, porém os resultados mostraram que as tensões aplicadas nessas cortinas pela massa de água não foram adequadamente suportadas, as estruturas não são capazes de resistir à quantidade de água acumulada após um possível dano, retratando a inviabilidade do conceito. Além disso, existiram dúvidas em questões relativas ao armazenamento e implantação das cortinas em cada viagem.

Também foi considerada a possibilidade de utilização dos balões como vedação em uma região danificada de um tanque de carga para diminuir o vazamento ou saída de algum tipo específico de carga, por exemplo, o petróleo. Porém, foi observado que os balões nesta situação estariam propensos a romper em contato com bordas afiadas, no caso, do casco rompido do navio. A partir dessas conclusões, o conceito do uso de balão na vedação em caso de vazamentos deixou de ser investigado e foi abandonado.

Foi definida também a aplicação do sistema em navios de cruzeiros. A primeira ideia de aplicação foi em forma de bóia em volta do navio, pois o fato de estar acima da linha d'água é recomendado para fácil inspeção. Como o espaço livre em um navio de cruzeiro é bem limitado, o ideal seria que a expansão dos balões

acontece do lado de fora. Porém, será necessário evitar colisões dos balões inflados no casco com as embarcações de resgate. Isso significa que, para este tipo de aplicação, alterações do desenho e do projeto serão necessárias.

No que diz respeito à segurança, o sistema foi bem aceito. Foram proporcionados bons e seguros resultados, o que cria a possibilidade de integração do conceito em sistemas de segurança de embarcações. São exigidas normas mínimas de segurança pelos armadores de acordo com as regras da IMO, e o sistema atendeu a todas elas nas situações a que foi aplicado. O sistema ainda precisa ser melhorado em alguns aspectos, mas, de uma forma geral, provou que seus conceitos funcionam bem e que será um sistema de sucesso para os navios.

### 6.3 Imagens dos Testes

#### 6.3.1 Dia 1

**Figura 19** – Posicionamento da estrutura



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 20** – Unidade geradora de gás



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 21** – Fixação da unidade



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 22** – Instalação dos balões externos



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 23** – Instalação dos balões internos



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

### 6.3.2 Dia 2

**Figura 24** – Transporte para o estaleiro



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 25** – Colocação no estaleiro



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 26** – Afundamento na água



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 27** – Verificação do mergulhador



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>



**Figura 28** – Aparecimento da plataforma

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 29** – Balões em perfeito estado

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

### 6.3.3 Dia 3

#### 6.3.3.1 Primeiro Teste

**Figura 30** – Transporte da plataforma

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 31** – Colocação na água

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 32** – Plataforma imersa

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 33** – Aparecimento da plataforma

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 34** – Balões em perfeito estado



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

### **6.3.3.2 Segundo Teste**

**Figura 35** – Plataforma com angulação



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 36** – Plataforma imersa



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 37** – Aparecimento da plataforma



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

## 6.3.4 Dia 4

**Figura 38** – Posicionamento da plataforma

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 40** – Afundamento completo

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 39** – Colocação no mar

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 41** – Inflação dos balões

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

## 6.3.5 Dia 5

**Figura 42** – Colocação com angulação

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 43** – Afundamento da estrutura

Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 44** – Aparecimento da estrutura



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

**Figura 45** – Balões sem furos



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

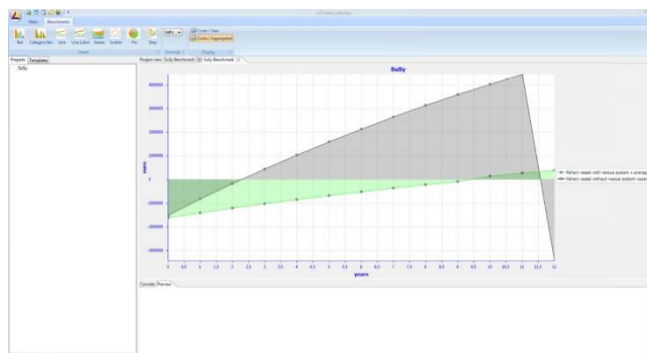
## 7. SOFTWARES

### 7.1 Modelo do Sistema

A proposta de um sistema de recuperação baseado em balões como o SuSy cria custos de investimento para sua aplicação adequada. Para isso, foi necessária a utilização de diversos softwares para fazer os devidos cálculos do ciclo de vida desse sistema. Seu principal benefício é o resgate de um navio inteiro, poupando custos de investimento de seu proprietário em uma nova embarcação. Também é importante citar os custos poupados no caso da contenção de acidentes que possam ter como consequência desastres ecológicos e ambientais. Por último, e talvez o mais importante, o resgate da vida humana é possível de ser feito, e para isso não existe custo possível de comparação.

O software foi desenvolvido em Java para ser usado durante as fases do projeto. A vantagem desse sistema operacional é a fácil integração de diferentes editores e leitores, com possível personalização de interface pelos diferentes utilizadores que terão diversas exigências de funcionalidade e uso. Serão necessários diversos editores para introduzir os dados de definição do produto, da condição de funcionamento, das variáveis e dos cálculos. Também podem ser utilizados gráficos e tabelas como necessário. Serão avaliados os projetos e seus cenários, de acordo com suas variáveis e componentes das fases.

**Figura 46** – Vista do projeto no software



Fonte: <http://www.su-sy.eu/>

As ferramentas de visualização mostram os resultados ao longo do tempo de acordo com a representação gráfica mais adequada. Quando o protótipo for realmente concluído, será possível comparar diferentes cenários a fim de ajudar o usuário na identificação da melhor solução e na análise das fraquezas dos outros projetos disponíveis. Todas as visualizações serão conectadas diretamente com os editores e os módulos de cálculo, resultando em efeitos imediatos nas mudanças dos editores.

Antes dos projetos serem gerados, é essencial o recolhimento de dados relacionados a ele. Modelos e componentes devem ser criados para servirem de base para todas as tarefas de cálculo. Uma vez recolhidos, é criado o projeto. Depois disso, os objetos do cenário devem ser definidos com suas determinadas fases, e então são conectados às áreas operacionais e aos perfis de funcionamento. Também são utilizados vários algoritmos definidos no sistema para os devidos cálculos dentro de cada fase.

A implementação do primeiro protótipo do software foi realizada em uma sequência de passos, onde o modelo de dados foi mapeado, combinando diferentes objetos com a mesma estrutura e o mesmo objeto. Depois do recolhimento dos dados relevantes, a tarefa mais importante foi o início dos cálculos, implementando diferentes editores para recolher as informações a medida que o modelo as apresenta. Este protótipo foi testado pela BALance e as experiências adquiridas alimentam diretamente o processo de desenvolvimento na construção de um protótipo melhorado.

## **7.2 HazID**

O sistema HazID, sigla para Hazard Identification, é uma técnica para identificar e documentar de forma sistemática os riscos e métodos para reduzir a probabilidade de falhas e erros. Embora não tenha sido inicialmente planejado na descrição do projeto, a Bureau Veritas propôs a realização de uma análise desse tipo como um meio de avaliação das aplicações dos conceitos de SuSy em complemento aos estudos específicos realizados. Os objetivos definidos para a

realização de HazID foram a identificação dos riscos decorrentes da utilização do sistema SuSy com impactos na segurança e meio ambiente e a obtenção de uma lista de falhas com causas e consequências, uma lista de medidas de segurança e uma de recomendações; tudo colocado em um documento chamado registro de riscos.

Foi feita uma reunião preparatória para apresentar o processo a todas as partes envolvidas, definir os cenários a serem avaliados, identificar os dados necessários para entrada no sistema, e definir a equipe de peritos para participar de oficinas do sistema sobre os riscos na aplicação de SuSy em tanques e em operações de salvamento. As oficinas foram conduzidas sistematicamente por um facilitador através de uma lista de operações, usando uma lista pré-definida das categorias de risco.

Na oficina de tanques, quatro casos tiveram destaque: situação acidental em que SuSy deve ser ativado, operação normal do navio ou acidente que SuSy não deve ser ativado, operações periódicas de pesquisa que não devem ser impedidas por esse sistema e, por último, a instalação e manutenção do mesmo. Na oficina de operações de salvamento, sete casos mais significativos foram identificados: preparação e transporte do sistema, instalação no navio naufragado, inflação dos balões e retirada do navio do fundo, fase ascendente, fase da superfície, fase final e desmonte do sistema com retorno para o local de origem.

Um total de 29 recomendações foram emitidas até o final da oficina de tanques e, após a consolidação, foi definida a necessidade de realizar investigações sobre todos os aspectos mencionados por elas. Algumas delas foram o número mínimo e a localização dos balões para se encaixarem no objetivo do sistema, meios de evitar os balões do casco duplo de ficarem presos ou serem danificados durante a inflação, meios de identificar qual tubulação ou qual balão está vazando ou possui avarias e como gerenciar a situação para garantir que os outros balões que estão intactos sejam inflados de forma correta. Também se destacam o desenho e a conexão da ligação entre o sistema de fornecimento de gás e o balão, o comportamento e a proteção do sistema de geração de gás caso haja fogo a bordo e meios de instalar e remover balões do casco duplo para manutenção e controle durante inspeções periódicas.

Na oficina de salvamento, foram emitidas 63 recomendações, com necessidade de pesquisas sobre os pontos colocados em pauta. Entre elas é possível citar o processo para definir o número e o tamanho dos módulos de geração de gás, determinação dos limites operacionais de SuSy para profundidade, forma do fundo do mar e condições meteorológicas, instalação dos sistemas nas estruturas afundadas, a inflação e os processos de interação entre o balão e a estrutura. Além dessas, é válido mencionar também a análise da estabilidade do navio com vento e ondas depois da chegada à superfície, a definição dos modos de segurança de acordo com a fase de operação, assim como os procedimentos de emergência e o sistema de controle desde a fixação do módulo até a sua remoção.



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas do projeto SuSy foram concluídas em fevereiro de 2013, com ótimos resultados e soluções. Apesar de não ser um projeto pronto para levantar o Titanic, a equipe do projeto desenvolveu um sistema que permitirá salvar e estabilizar os navios danificados de forma muito mais eficiente do que a que é feita atualmente, e os benefícios em termos ambientais, financeiros e de segurança são enormes. O sistema pode ser uma parte dos futuros conceitos de segurança para todos os navios. Todos os objetivos estabelecidos na fase inicial do projeto foram alcançados.

A diferença que pode ser detectada nas aplicações do projeto se encontra no momento em que o salvamento se configura. Conforme descrito, cada operação mostra diferentes casos e situações onde não é possível estabelecer uma orientação geral quanto ao tempo necessário para levantar a embarcação, sendo necessária a avaliação individual de cada aplicação. Porém, foi estimado que o levantamento de um navio através de SuSy com um gerador de gás exigiria 2 dias, enquanto um com gás armazenado demoraria 6 dias, e um sem qualquer sistema SuSy levaria 12 dias de operação, e isso torna o sistema capaz de competição com qualquer outro sistema, saindo com destaque na comparação.

Na fase final, mesmo sendo apenas um protótipo, o projeto provou que os conceitos funcionam perfeitamente bem. No entanto, o sistema precisa ser melhorado para se tornar um produto comercializável. Os próximos passos, portanto, para o mercado serão determinados com base nos projetos relacionados aos clientes. Muitas conferências e eventos foram realizados para divulgação do sistema, e a primeira pesquisa de mercado gerou uma resposta positiva e um elevado interesse em vários países. A previsão de comercialização e primeiras vendas de SuSy foi definida para 2016, depois que o projeto comercial foi finalizado com sucesso.

Foi desenvolvido um website com seu próprio domínio, para ajudar na divulgação do projeto. Nele é possível encontrar informações sobre o sistema SuSy, seus objetivos e resultados alcançados, assim como as etapas realizadas e

documentos com importantes informações. Também se pode encontrar o nome das empresas envolvidas e os parceiros, com emails para contato. Um pôster do projeto foi produzido para colocação em diferentes eventos. Os testes de mar foram filmados e fotografados, de forma a ser possível apresentá-los aos interessados e às empresas relacionadas ao projeto. O projeto foi divulgado, também, através de artigos escritos em revistas científicas, em sites e em jornais.

O fato de que o transporte marítimo é um negócio de alto risco, tanto do ponto de vista econômico e operacional, é amplamente reconhecido. Levando em consideração a própria natureza da indústria marítima e das condições de mercado, é possível afirmar que um sistema que pode atenuar as consequências de um acidente, fornecendo fluabilidade e estabilidade adicional a um navio danificado, facilitaria as operações de resgate, com salvaguarda mais eficaz contra qualquer dano à vida, à propriedade e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

BMT Group. **BMT Group and SuSy come to the rescue of sinking vessels**. 2010. Disponível em: <<http://www.bmt.org/news/2010/12/bmt-group-and-susy-come-to-the-rescue-of-sinking-vessels/>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

CORDIS. **Final Report Summary – SuSy (Surfacing System for Ship Recovery)**. 2015. Disponível em: <[http://cordis.europa.eu/result/rcn/57940\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/57940_en.html)>. Acesso em: 19 jun. 2015.

GCaptain. **Kevlar balloons to raise sinking ships**. 2010. Disponível em: <<http://gcaptain.com/kevlar-balloons-raise-sinking/>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

Inovação Tecnológica. **Airbags marítimos evitam que navios afundem**. 2014. Disponível em: <[http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=airbags-para-navios&id=010170140627#.Va4uL\\_IVikr](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=airbags-para-navios&id=010170140627#.Va4uL_IVikr)>. Acesso em: 18 fev. 2015.

Marine Log. **EU Project develops balloon-based ship rescue system**. 2013. Disponível em: <[http://www.marinelog.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=3639:eu-project-develops-balloon-based-ship-rescue-system&Itemid=231](http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=3639:eu-project-develops-balloon-based-ship-rescue-system&Itemid=231)>. Acesso em: 02 abril 2015.

NEUBERT, Hanns-J. **Airbags for ships save lives, environment and cargo**. 2014. Disponível em: <[http://www.youris.com/Mobility/Marine\\_transport/Airbags-For-Ships-Save-Lives-Environment-And-Cargo.kl](http://www.youris.com/Mobility/Marine_transport/Airbags-For-Ships-Save-Lives-Environment-And-Cargo.kl)>. Acesso em: 11 nov. 2014.

PEREIRA, Sidnei Esteves. **Estabilidade para embarcações mercantes**. 2ª edição, revista e atualizada. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 2012.

PUFF, Jefferson. **Cem anos após desastre do Titanic, acidentes com navios têm redução de 85%**. São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/04/120413\\_titanic\\_riscos\\_atuais\\_acidentes\\_ip.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/04/120413_titanic_riscos_atuais_acidentes_ip.shtml)>. Acesso em: 23 maio 2015.

**Surfacing System for Ship Recovery.** 2015. Disponível em: <<http://www.su-sy.eu/>>. Acesso em: 28 abril 2015.

WALLACE, Allyn. **EU Project develops air bag ship rescue system to prevent sinking.** 2014. Disponível em: <<http://interestingengineering.com/eu-project-develops-air-bag-ship-rescue-system-to-prevent-sinking/>>. Acesso em: 11 nov. 2014.