

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Mauricio Cantiello Brancante Machado

**Dimensionamento de Sistemas de Sinalização para Busca e
Resgate usando Balões Ancorados em Botes Salva-Vidas**

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia
Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Ivan Fabio Mota de Menezes

Rio de Janeiro

Junho de 2022

Agradecimentos

Gostaria de agradecer;

Professor Ivan, que foi sempre além para ajudar não só a mim, como a todos;

Meus pais e minha irmã pelo o amor e apoio;

Maria por estar sempre ao meu lado;

Samira pelo suporte;

João e Laura pela companhia nas noites viradas surtando pré-prova;

Paulo, Tony e Gollo por estarem sempre lá;

Flavio Andrade pela oportunidade;

Leonardo, Rogério, Marcia, Victor, Leandro & Arthur pela inspiração.

Daniel pela revisão.

Resumo:

Apesar de diversos artifícios modernos para operações de busca e resgate em alto mar de botes salva-vidas, ainda acontecem percalços graves durante essas buscas. Devido as condições do cenário, questões como a altura das ondas e o próprio horizonte podem obstruir a visão de veículos de resgate a procura destes botes. Surge assim a necessidade primária de fazer o bote ser propriamente visto, e a partir deste fato são empregados diversos sistemas. Estes sistemas variam desde arcaicos, como bandeiras e sinalizadores químicos, até modernos, como aparelhos eletrônicos capaz de comunicação com a malha de satélites. Nesta monografia me proponho a conceitualizar e dimensionar mais um destes artifícios, de tal forma que funcione sinergicamente com os outros artifícios já empregados. O sistema proposto se baseia na ideia de um aerostático (balão) inflados momentos após o abandono do navio mãe que se permaneça ancorado ao bote, de tal forma que o mesmo aumente em ordens de magnitude a distância efetiva na qual o sistema balão mais bote possa ser avistado. Logo, é postulado que um sistema que siga os dimensionamentos e propostas nesta monografia possa de muito ajudar os esforços de busca e resgate.

Palavras-chave: Aerostático, sinalização marítima, kytoon, naufrágio, busca e resgate.

Abstract:

Sizing Signaling Systems for Search and Rescue using Balloons Anchored in Lifeboats

Despite several modern artifices for deep sea search and rescue operations of lifeboats, serious mishaps still occur during these searches. Due to the conditions of the scenario, issues such as the height of the waves and the horizon itself can obstruct the vision of rescue vehicles looking for these boats. Thus, the primary need arises to make the boat properly seen, and from this fact several systems are used. These systems range from archaic, such as chemical flags and beacons, to modern, such as electronic devices capable of communicating with the mesh of satellites. In this monograph I propose to conceptualize and dimension one more of these devices, in such a way that it works synergistically with the other devices already used. The proposed system is based on the idea of an aerostatic (balloon) inflated moments after the abandonment of the mother ship that remains anchored to the boat, in such a way that it increases by orders of magnitude the effective distance at which the balloon-plus-boat system can be sighted. Therefore, it is postulated that a system that follows the dimensions and proposals in this monograph can greatly help search and rescue efforts.

Keywords: Aerostatic, maritime signaling, kytoon, shipwreck, search and rescue.

Índice:

Capa.....	0
Agradecimentos.....	1
Resumo.....	2
Abstract.....	3
Índice.....	4
1. Introdução.....	8
2. Situação atual.....	9
2.1 EPIRB.....	9
2.2 International Cospas-Sarsat Programme.....	10
2.3 Botes Salva-Vidas.....	11
2.4 SART (Search and Rescue Transponder).....	10
3. Roteiro de evacuação de um navio e operação de busca e resgate consequentes.....	13
3.1 Desafios do Resgate.....	14
4. Minha proposta.....	15
4.1 Benefícios da ideia.....	15
4.2 Quais Parâmetros deve-se almejar?.....	15
5. Histórico da ideia.....	16
6. Dificuldades associadas.....	16
6.1 Instalação.....	16
6.2 Escolha do Gás.....	16
6.3 Sistema de Inflação do Balão.....	17
6.4 Arrasto do Balão.....	19
7. Projeção e dimensionamento do balão.....	20
7.1 Modelo Físico.....	20
7.2 Arrasto Aerodinâmico.....	22

8. Escala de Beaufort.....	24
9. Justificativa.....	26
9.1 Formato.....	26
9.2 Dimensionamento.....	27
9.3 Altura do Balão.....	30
9.4 Refletor de Radar.....	32
9.5 Cor.....	33
9.6 Design do Balão.....	33
9.7 Cabo.....	34
9.8 Peso.....	38
10. Conclusão.....	39
11. Referências & Bibliografia.....	40

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema Emergencial EPIRB

Figura 2 - Logo da iniciativa

Figura 3 – Exemplo de Liferaft em piscina

Figura 4 - Lifeboat em seu berço no Navio Mãe

Figura 5 - Dispositivo SART

Figura 6 - Monitor de Radar

Figura 7 - Diagrama de corpo livre de um balão flutuante

Figura 8 - Diagrama de corpo livre de um balão flutuante sujeito a ventanias

Figura 9 - Coeficiente de arrasto aerodinâmico e perfil máximo de assinatura de radar de uma esfera

Figura 10 - Diâmetro angular aparente de um objeto

Figura 11 - plot da distância que uma esfera pode ser vista a olho nu versus seu respectivo diâmetro

Figura 12 - Conta de diâmetro mínimo realizada no Wolfram Alpha

Figura 13 - Comando de Input no Wolfram Alpha

Figura 14 - Gráfico comparativo entre velocidade do vento e altura

Figura 15 - Raio de 15 Km com seu centro fixado no campus da PUC-Rio

Figura 16 - Safety Orange ("Laranja de Segurança")

Figura 17 - Um "kytoon" em operação

Figura 18 - Diagrama de corpo livre de uma Pipa

Figura 19 – Notar que a soma dos vetores de Empuxo e Arrasto resulta no vetor Força do vento, que é igual em magnitude ao vetor Tensão de Cabo, resultado da soma dos vetores peso e tração

Figura 20 - Um aerofólio simples, no nosso caso será uma pipa

Figura 21 - Situação limite de ventania na qual o sistema ainda se sustenta.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Categorias Meteorológicas de Beaufort

Tabela 2 – Relação n° de cilindros vs. Diâmetro Esférico

Tabela 3 – Relação Raio vs. Tensão gerada no cabo

Tabela 4 – Peso seco

Tabela 5 – carga útil

Introdução

1. Introdução

No decorrer da minha caminhada pela graduação de Engenharia Mecânica, percebi que tenho uma fascinação muito grande pela área marítima, aprecio e celebro muito como todos aqueles que trabalham em alto mar acabam compartilhando de uma cultura que transcende nacionalidade e gerações. Porém, o aspecto que torna esse cenário tão interessante e ímpar é o mesmo que o torna perigoso e traiçoeiro; pessoas não foram feitas para viver no mar, e qualquer homem que está agora embarcado só está lá graças aos artifícios da engenharia. Pode-se estar a 1000 Km de qualquer terra firme, a única coisa separando a vida da morte certa são os 20 centímetros de aço no casco do navio.

Todo bom engenheiro sabe que o maquinário falha, a diferença entre um equipamento bom ou ruim é o quão difícil é que este falhe. Redundância é essencial no mar; onde há um velho ditado que diz que “dois é um, um é nenhum”. Logo, faz-se necessário o máximo de ferramentas, não só em diversidade, como em qualidade e quantidade.

Há pouquíssimas situações atuais que deixam uma pessoa tão vulnerável quanto um naufrágio, o desespero somado à evacuação do navio, a corrida até o bote salva-vidas, e terminar à deriva em alto mar. É um ritual macabro, tão antigo quanto a própria navegação em si, o desespero da incerteza e a dependência de sua ingenuidade e, em último caso, da sorte.

Apesar de haver diversos artifícios para o auxílio da procura e sinalização desses botes salva-vidas, existem diversos relatos, inclusive contemporâneos, de pessoas em situação de naufrágio, à deriva em seu bote salva-vidas, que avistaram navios mercantes a distâncias razoavelmente curtas e, apesar de diversos esforços, não conseguiram chamar sua atenção. Há diversos artifícios para essa sinalização e auxílio de resgate, desde os antigos, como bandeiras sinalizadoras, até os mais novos, como sistemas de posicionamento por satélite.

Nesta monografia, eu proponho idealizar e dimensionar mais um desses artifícios: irei propor uma junção de tecnologias antigas com novas para desenvolver um novo sistema de sinalização emergencial, que almeja redimir falhas e pontos fracos nas operações de busca e resgate atuais.

Métodos

2. Situação atual

Em situações de emergência em alto mar, como um naufrágio, um abandono do navio-mãe via botes salva-vidas, pousos forçados de aviões no mar, falhas técnicas de uma embarcação etc., surge um cenário delicado: estar exposto em alto mar, à deriva, em necessidade de resgate por terceiros. Apenas no ano 2020 houve mais de 190 grandes naufrágios registrados [1]. Hoje em dia, há diversos recursos regulamentados e obrigatórios em embarcações para facilitar a procura das vítimas afetadas. A seguir, iremos listá-los, em ordem de uso no cenário de uma emergência em alto mar.

2.1 EPIRB

O EPIRB é um dispositivo eletrônico exigido em todas as embarcações, sejam elas de lazer ou de comércio, que transitam em alto mar, que é engatilhado manualmente ou em caso de contato com água. Esse eletrônico é por regra instalado em algum local sensível, como a cabine da tripulação ou a casa de máquinas, nas quais a identificação da presença de água implica que o barco está em situação de naufrágio e que os principais compartimentos do navio já foram comprometidos. A partir desse engatilhamento automático que detecta o naufrágio do barco-mãe, emite-se um sinal de socorro via satélite junto com sua última localização. As gerações antigas de EPIRB utilizavam um emissor de rádio VHF (*Very High Frequency*, faixa de emissão muito utilizada no cenário náutico e de aviação devido ao seu grande alcance) na faixa de rádio de frequência de 121.5 MHz, reservada internacionalmente para emergências, na qual são emitidos sinais periódicos, que facilitam a triangulação da posição do emissor, com modelos dessas gerações anteriores tendo uma acurácia de localização de 2 Km. Hoje em dia, porém, somado a essa emissão de rádio, os EPIRBS também possuem o auxílio de GPS e a emissão do pedido de resgate na faixa de 406 Mhz, já na categoria UHF (*Ultra High Frequency*), capaz de sinalizar satélites, para que assim eles consigam engatilhar a resposta do *International Cospas-Sarsat Programme* em até 2 horas. A acurácia de localização dos modelos atuais, com auxílio de GPS, é de um raio de 100 m.

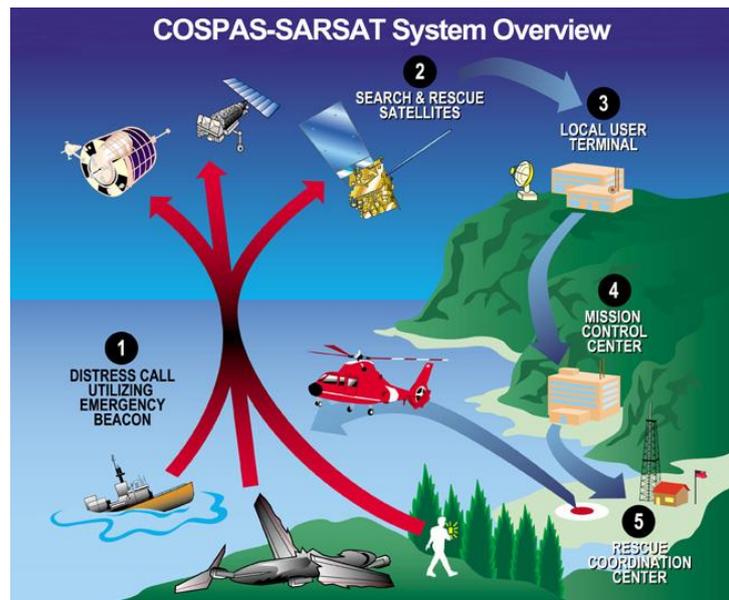


Figura 1 - Sistema Emergencial EPIRB / Fonte: Wikimedia Commons

2.2 International Cospas-Sarsat Programme

A *International Cospas-Sarsat Programme* é uma iniciativa internacional fundada no final dos anos 1970, com seus principais proeminentes sendo países como Canadá, França, Estados Unidos e a jazida União Soviética; hoje em dia praticamente todos os países já participam do projeto, oferecendo seus esforços e aproveitando seus benefícios. Essa iniciativa se aproveitou da corrida espacial e das tecnologias desenvolvidas durante esse período, porém com um fim de cooperação maior entre os países, que se mantém viva até hoje. A iniciativa se propõe ao lançamento, à manutenção, ao uso e ao aperfeiçoamento de satélites, que recebem esses sinais de emergência provindos de navios ou aviões em situação de calamidade e a partir disso acionam os esforços de uma missão de resgate para as marinhas e guardas costeiras dos países mais próximos. A partir disso, esses países desenvolvem o mais rápido possível um plano de resposta para tentar salvar, o mais brevemente, os afetados pelo desastre, visando chegar e avistá-los nas primeiras 24 horas após o incidente, pois essa é considerada a “janela de ouro” do resgate [2], o período com maior chance de sobrevivência de todos os prejudicados.



Figura 2 - Logo da iniciativa / Fonte: Logomarca Publica

2.3 Botes salva-vidas

Por lei, hoje toda embarcação em alto mar possui botes salva-vidas com capacidade de salvatagem de 200% da tripulação total. Isso se dá pois, quando naufraga, um navio pode tombar para um dos lados, inviabilizando o uso dos botes presentes nesse respectivo lado. Logo, faz-se necessário que em ambos os lados da embarcação haja disponível uma frota de botes salva-vidas com capacidade de acomodação para toda a tripulação.

Há dois grandes sistemas de evacuação: *Liferaft* e *Lifeboat*. O que diferencia primariamente os dois é que o *Liferaft* é inflado automaticamente durante um naufrágio, usando um sistema de gatilho hidrostático, e o *Lifeboat* possui casco rígido, motor, e é lançado ao mar manualmente. Nesta monografia, iremos focar no caso da plataforma *Lifeboat*, pois atualmente um procedimento comum é *Liferafts* se moverem e se concentrarem nos *Lifeboats* nas horas logo após o naufrágio, pois estes são plataformas mais preparadas, completas e rígidas.

2.3.1 Plataforma Liferaft



Figura 3 – Exemplo de Liferaft em piscina / Fonte: Wikimedia Commons

Liferafts Infláveis se apresentam como casulos que ficam no convés no navio-mãe. Em caso de naufrágio, esses casulos com flutuação positiva estouram a trava que os segurava, engatilhando a inflagem. Esse sistema é popular em embarcações de pequeno porte, como veleiros de lazer. Em embarcações de grande porte, como cruzeiros, quando há o cenário de possuírem tanto *Liferafts* quanto *Lifeboats*, é indicado que logo após o naufrágio os *Liferafts* se coordenem e se juntem aos *Lifeboats*, por serem estas plataformas mais abrangentes, pelos motivos que iremos detalhar a seguir.

2.3.2 Plataforma Lifeboat



Figura 4 - Lifeboat em seu berço no Navio Mãe / Fonte: Wikimedia Commons

Botes *Lifeboat* possuem casco rígido, rádio e motores. São lançados ao mar manualmente em caso de necessidade e costumam ter uma capacidade tripulacional maior que a de *Liferafts*, assim como melhor qualidade de materiais. Por lei internacional, esse tipo de embarcação já possui tanques de oxigênio em seu interior, facilitando a instalação de tanques similares de hélio em seu interior (o motivo dessa observação se tornará evidente no decorrer da monografia). O projeto desta monografia será dimensionado baseando seu uso nessa plataforma.

2.4 SART (Search and Rescue Transponder)

Dentro dessa embarcação de evacuação emergencial pode estar presente o SART (*Search and Rescue Transponder*). Esse instrumento, quando ligado, fica em modo de prontidão passiva. Quando recebe um sinal específico de radar na faixa 9 GHz *X-band* vindo de um raio de até 8 milhas náuticas (aproximadamente 15 quilômetros), ele é engatilhado e passa a emitir sinais de rádio em uma frequência específica de emergência, em intervalos regulares. Dessa forma, ele projeta no monitor de radar dos veículos de busca uma linha direcionada à sua posição. Esse equipamento também deve ser montado na parte mais alta da embarcação, e quanto maior a altura de sua instalação melhor seu funcionamento.

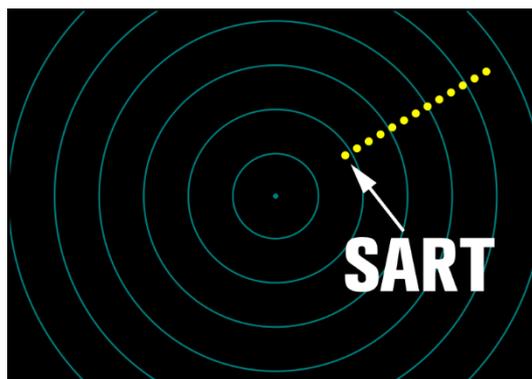


Figura 6 – Assinatura do SART no Monitor de Radar /
Fonte: Domínio Público

Figura 5 - Dispositivo SART / Fonte: Wikimedia Commons

3. Roteiro de evacuação de um navio e operação de busca e resgate consequente

Dada a terminologia e a instrumentação, apresentarei como seria o procedimento padrão em que tudo ocorre como esperado numa missão de busca e resgate de um navio que foi evacuado.

Primeiramente, a tripulação é avisada de que o navio está em condições críticas; a partir disso, a equipe se veste com seus coletes e parte rumo aos botes, e se possível, dependendo da velocidade da emergência, é emitido um sinal de “*mayday*” por meio de um rádio VHF, comunicando a situação do navio e sua última localização averiguada. Se as antenas do navio-mãe forem potentes o suficiente para atingirem alguma costa, esse sinal será repassado para a guarda costeira do respectivo país; caso não sejam tão potentes, ele será recebido por outros navios na proximidade, que irão repetir a mensagem prolongando seu alcance, até ser recebida na costa.

Emitido o sinal de “*mayday*”, a tripulação, caso tenha tempo, aciona manualmente o EPIRB e o leva até os botes salva-vidas. Caso isso não seja possível, o EPIRB será acionado, junto aos destroços e ao naufrágio, quando sentir a presença de água marítima. Após ser acionado, o EPIRB irá enviar um sinal de emergência com a identificação e última localização registrada para a rede internacional de satélites *International Cospas-Sarsat Programme*. Em seguida, será organizada uma missão de busca e resgate pelas autoridades competentes por aquele setor marítimo específico. Organizada a missão, diversos veículos serão mobilizados em direção à última localização estabelecida.

A tripulação nesse momento já evacuou o navio e se encontra nos botes salva-vidas. Esses botes contam com artifícios como ancoras d'água para que possam ficar minimamente perto do local de naufrágio, que é a estratégia que maximiza a possibilidade de serem avistados pelas equipes de resgate, e de preferência junto com os outros botes. Chegando próximo ao local reportado de naufrágio, as equipes nos veículos de busca e resgate começam a procurar os botes, utilizando radares, câmeras infravermelhas, e a se movimentar em padrões de busca que cobrem a maior área possível em menor tempo. Em contrapartida, os botes se utilizam de diversos artifícios para chamar a atenção desses veículos de busca, entre eles sinalizadores pirotécnicos, avisos sonoros, espelhos de sinalização etc. Avistados os botes, as equipes de busca e resgate socorrem a tripulação à deriva e a levam de volta para a costa.

3.1 Desafios do Resgate

O problema, porém, surge nas dificuldades encontradas por esses esforços de resgate, inerentes a uma situação como estar à deriva ao mar, como por exemplo:

1. O tempo de resposta das equipes de resgate: há obviamente um atraso para a ajuda chegar ao local reportado do naufrágio do navio-mãe. Durante essas horas, os botes salva-vidas usados para evacuar o barco mãe estão sujeitos a correntes e a ventanias que os afastam da última coordenada reportada do naufrágio do barco-mãe;
2. A visibilidade em alto mar é dificultada devido a fatores como refração, ondas e o próprio horizonte, que podem obstruir e interferir a visão de objetos em sua superfície, como os próprios botes salva-vidas, mesmo em pequenas distâncias;
3. Sinalizadores químicos como *flares* e foguetes são altamente efetivos, porém devido à sua natureza têm curta duração e uso limitado, além de chamarem menos atenção durante o dia;
4. Instrumentos eletrônicos como rádios, transponders e radares têm seu funcionamento afetado devido à sua baixa altura de antena de transmissão. Naturalmente, antenas devem ser posicionadas em alturas elevadas para otimizar seu alcance, objetivo difícil de se alcançar em um bote salva-vidas na superfície do mar;
5. Esses fatores dificultam também a coordenação entre os próprios botes salva-vidas. Idealmente, múltiplos botes salva-vidas decorrentes de um naufrágio devem se unir para se ajudarem mutuamente compartilhando recursos e facilitando os esforços de busca e resgate.

4. Minha proposta

Estudar e modelar o funcionamento de um sistema de inflação automática hidrostática de balão usando gases mais leves que ar, ancorado em embarcações (navio-mãe em situação de estresse, “*liferafts*”, “*lifeboats*”, aviões com pouso marítimo forçado) para auxiliar em diversos aspectos os esforços de busca e resgate dos sobreviventes.

Ou seja, quando evacuado o navio-mãe e a tripulação já estiver em seus devidos botes salva-vidas, a uma distância segura do naufrágio e dos seus destroços, deve ser acionado um sistema que infla um balão, com um gás mais leve que o ar, que permanecerá preso (“ancorado”) a esse bote. Esse balão então permanecerá flutuando por poucos dias, auxiliará na visibilidade do bote que o lançou e oferecerá uma plataforma para o uso de outros instrumentos que se beneficiam de uma altura elevada, como refletores de radar e antenas emissoras de rádio.

4.1 Benefícios da ideia

1. Maior visibilidade: com esse sistema de balão ancorado, o bote não será apenas visível na linha do mar, mas também terá uma sinalização aérea, que não será obstruída por ondas. A partir disso, não só fica mais fácil que os esforços de buscas terceiros encontrem os botes, mas também os próprios botes provenientes do naufrágio têm maior facilidade de se encontrar nos momentos após o desastre;
2. Maior assinatura de radar: com o balão a uma determinada altura, pode-se ser utilizada a tecnologia de radar aéreo para procura, pois os mesmos radares militares que captam a presença de um avião no espaço aéreo podem ser utilizados para captar a presença do balão ancorado ao bote;
3. Maior altura de transmissão: pode-se utilizar o balão como uma plataforma para transmissores localizadores de emergência (SART). Dessa forma, os sinais emitidos se propagam mais distantemente e não são dispersos pela superfície do mar.

4.2 Quais parâmetros devem ser almejados?

1. Visibilidade do sistema a grandes distâncias (seja ele visto pelo mar ou céu);
2. Aumentar o tamanho da assinatura de Radar do sistema;
3. Disponibilizar uma plataforma que possibilite posicionar uma antena/transponder em posição elevada, para que transmita ondas de rádio com maior eficiência;
4. Compatibilidade e confiabilidade do sistema;
5. Acionamento manual ou automático (gatilho de lançamento hidrostático);
6. Preço.

5. Histórico da ideia

- Por volta de uma dúzia de patentes similares à ideia aqui proposta foram registradas para os mais variados fins;
- A ideia aparece em um concurso de *Design* em 2012, porém em pequena escala e nunca implementada;
- Uma ideia semelhante era usada na guerra fria para soldados perdidos na floresta, porém muito mal implementada;

6. Dificuldades associadas

6.1 Instalação

O sistema proposto deve ser modular e portátil, facilmente adaptável aos botes salva-vidas já em serviço atualmente. De preferência, deve-se aproveitar de infraestrutura e instrumentação já presentes nos respectivos botes. Ele deve ser de fácil acesso e uso, com instruções claras que transcendam barreiras linguísticas.

6.2 Escolha do Gás

Há obviamente duas grandes escolhas para o uso de gás nesse sistema, hidrogênio e hélio. Ambos apresentam vantagens e desvantagens, mas após uma rápida comparação fica claro qual é a melhor escolha. Ambos os gases, devido ao pequeno tamanho de sua molécula, inevitavelmente acabam vazando pelos poros do material da superfície do balão.

6.2.1 Hélio

Hélio é o gás nobre mais leve; por ser inerte, não interage com nenhum elemento. É um elemento razoavelmente raro, conseqüentemente um tanto quanto caro, porém para os fins propostos nesta monografia, o volume utilizado seria ínfimo comparado a outras situações como indústrias e afins. Como o hélio só se liquefaz em pressões altíssimas ou temperaturas baixíssimas e é completamente inerte, os cilindros contêm apenas o gás comprimido, o que prejudica a densidade e conseqüentemente o seu armazenamento (em comparação com CO₂ ou N₂, que permanecem em estado líquido dentro do cilindro, ou permanecem quimicamente estabilizados junto a um outro composto dentro do próprio cilindro).

6.2.2 Hidrogênio

A outra alternativa seria utilizar o único outro gás mais leve que o ar, H₂, elemento mais comum em massa no universo. Porém, por mais que o átomo de hidrogênio seja realmente metade do peso do de hélio, ele está sempre ligado a outro átomo igual, logo a densidade dos dois gases é bem semelhante (0,178 Kg por m³ para He, 0,164 Kg por m³ para H₂). Além disso, o gás é altamente inflamável, seus cilindros são fortemente controlados e suas utilizações também, basta lembrar do desastre do *Hindenburg* para lembrar o porquê. Seria possível produzir hidrogênio no local com a eletrólise da água, ou utilizando um metal alcalino como lítio, diminuindo muito o volume pedido do sistema e evitando a necessidade de cilindros de gás comprimido. Porém, ambas as opções são perigosas por diversos motivos; a eletrólise de água com sal, como a do mar, gera gás cloro, altamente tóxico, e lítio pode explodir em contato prolongado com a água.

Dissociação do NaCl: $2 \text{NaCl} \rightarrow 2 \text{Na}^+ + 2 \text{Cl}^-$

Autoionização da água: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{OH}^-$

Semirreação no cátodo: $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

Semirreação no ânodo: $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$

Hidrolização de metal alcalino: $2 \text{Li} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{LiOH} + \text{H}_2$

6.3 Sistema de inflagem do balão

A princípio, o sistema tem duas possibilidades primárias de engatilhamento: automático ou manual. Cada uma apresenta suas vantagens e desvantagens, que serão tratadas; no final, deve-se concluir qual seria a melhor solução, para solucionar os percalços envolvidos.

6.3.1 Lançamento Automático

Um sistema de engatilhamento automático seria aquele que infla o balão de sinalização logo após, ou em algum tempo cronometrado seguido, a captação de que o bote está sendo lançado. A princípio, parece uma escolha certa: todos os “*Liferafts*”, por exemplo, se inflam automaticamente no evento do naufrágio, devido a um sistema de lançamento hidrostático. No nosso caso, podemos observar as seguintes vantagens e desvantagens desse sistema:

Vantagens do lançamento automático:

- Não precisa de interferência humana para operar, já será lançado de prontidão no evento da necessidade, mesmo com sua tripulação debilitada ou sem conhecimento técnico;
- Os momentos após o desastre são os mais críticos, cada minuto é valioso, quanto mais cedo o balão possa ser inflado com segurança melhor será para as chances de resgate. Além disso, uma sinalização entre os botes salva-vidas logo quando eles se separam do navio-mãe pode ajudar a coordená-los, pois podem se juntar uns aos outros para facilitar os esforços de resgate, compartilhar recursos e mantimentos.

Desvantagens de um lançamento automático:

- Caso o balão seja inflado e lançado cedo demais, enquanto o navio está no processo de naufragar, por exemplo, ele irá inevitavelmente atrapalhar os esforços de evacuação do navio;
- Dito isso, o tempo de naufrágio e evacuação de um navio pode variar grandemente, indo desde alguns minutos até várias horas;
- Há o risco de botes salva-vidas vazios serem lançados e engatarem o sistema de inflagem do balão, podendo distrair e desperdiçar os esforços de busca e resgate com um bote sem nenhum passageiro dentro;
- Um sistema de lançamento automático adicionaria uma complexidade maior ao pacote todo, aumentando a possibilidade de o sistema simplesmente falhar.

6.3.2 Lançamento Manual

Um sistema de inflagem e lançamento manual do balão seria aquele no qual a tripulação, já tendo evacuado o navio, engatilharia o lançamento do balão. Se for esse o caso, o sistema deve ser de simples operação, e com instruções claras e universais, que comuniquem da melhor forma possível como utilizar o sistema, manutenções eventuais, e o melhor momento para lançá-lo.

Vantagens de um lançamento manual:

- Não se corre o risco de um lançamento precoce, que venha a atrapalhar a evacuação do navio;
- Pode-se esperar para engatilhar o sistema em um momento mais preciso. Por exemplo, caso a evacuação seja feita de noite, dependendo das condições pode ser propício esperar para lançar pela manhã;
- Um lançamento manual implica necessariamente que há sobreviventes a bordo do bote, e as equipes de resgate podem a partir disso operar com essa certeza;
- Um lançamento manual exige um sistema de engatilhamento mais simples e menos propenso a falhar.

Desvantagens de um lançamento manual:

- Um lançamento manual exige um mínimo de conhecimentos técnicos para a operação do sistema;
- Os tripulantes da embarcação podem nem saber da existência do artifício presente no bote.

Conseqüentemente, chega-se à conclusão de que um lançamento manual é o ideal, pois diminui a complexidade do sistema, não corre o risco de afetar o processo de evacuação e permite maior flexibilidade de lançamento. Levando em consideração que os outros instrumentos, como pistolas sinalizadoras, são de uso manual, parece ser a escolha mais natural.

6.4 Arrasto do Balão

Nesse sistema, o balão está sujeito às forças do vento, gerando assim um arrasto nele, diminuindo sua altura devido à angulação, tensionando o cabo de ancoragem e podendo até tracionar o bote salva-vidas em direções não desejadas.

Desenvolvimento

7. Projeção e dimensionamento do Balão

Deve-se projetar um formato que maximize a flutuabilidade do gás, com materiais leves e resistentes, e que retarde o processo natural de desinflação do balão. O balão necessita ser grande para ser visto a longas distâncias, porém a tal ponto que necessite de um grande volume de gás. O formato deve minimizar o arrasto contra o vento e deve permanecer o máximo de tempo possível flutuante. Qual cor, padrão e revestimento devem ser dados a esse balão para que maximize seu potencial? E a qual altura ele deve permanecer idealmente?

7.1 Modelo físico

A força de empuxo positiva que um determinado volume de gás mais leve que o ar pode gerar é determinada por:

$$F_b = (\rho_{AR} - \rho_{GAS}) \cdot g \cdot V \quad (1)$$

onde:

F_b = força de empuxo [N]

ρ_{ar} = densidade do ar atmosférico [Kg/m³]

ρ_{gas} = densidade do gás do balão [Kg/m³]

g = aceleração da gravidade [m/s²]

V = volume [m³]

Logo, considerando a densidade do ar em nível do mar de 1.292 Kg/m³ e do gás hélio de 0.178 Kg/m³, a força de empuxo positiva que 1m³ de hélio produz em nível do mar é de:

$$1 \text{ m}^3 \times 1.114 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ N/kg} = 10.9 \text{ N} \text{ Aproximadamente } 1 \text{ Kg} \quad (2)$$

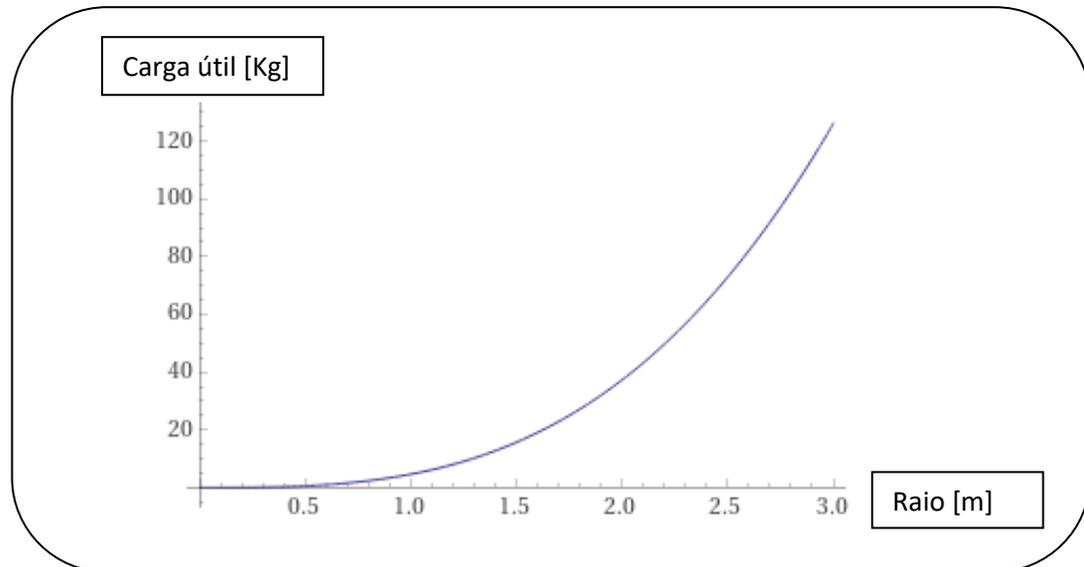
Como iremos modelar nosso balão aproximando-se de uma esfera, devemos deixar a função em termos de seu raio

$$F = (\rho_{AR} - \rho_{GAS}) \cdot g \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \right) \quad (3)$$

onde:

r = raio [m]

Assumindo que o balão tenha um formato esférico, podemos comparar sua carga útil em Kg gerada pelo gás, nesse caso hélio, versus seu raio em metros:



Devemos então achar o peso do balão isolado. Para isso, precisamos calcular o peso que o material do próprio balão exerce, que está diretamente ligado à sua densidade por área, e a quantidade total do material utilizado.

Logo, de princípio, temos a fórmula da área de superfície de uma esfera:

$$S = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (4)$$

onde:

S = área total de superfície [m²]

r = raio da esfera [m]

A partir disso, multiplicaremos essa área total pela densidade do material e pela força da gravidade, para assim sabermos quantos Newtons de peso as paredes exerceram:

$$P = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho_{material} \cdot g \quad (5)$$

onde:

P = peso total do material [N]

$\rho_{material}$ = densidade do material [Kg/m³]

Logo, assumindo um balão esférico, cujas paredes são feitas de um material de densidade “d”. Para esse balão ter um empuxo suficiente para vencer os pesos de suas próprias paredes, ele deve ter no mínimo um raio r de:

$$(1.292 - 0.178) \times 9.8 \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) > (4 \pi r^2) d \times 9.8 \quad (6)$$

$$r > 2.693 \cdot d$$

E sua capacidade de empuxo positiva ascendente será:

$$F_{net-y} = F_B - mg - T \quad (7)$$

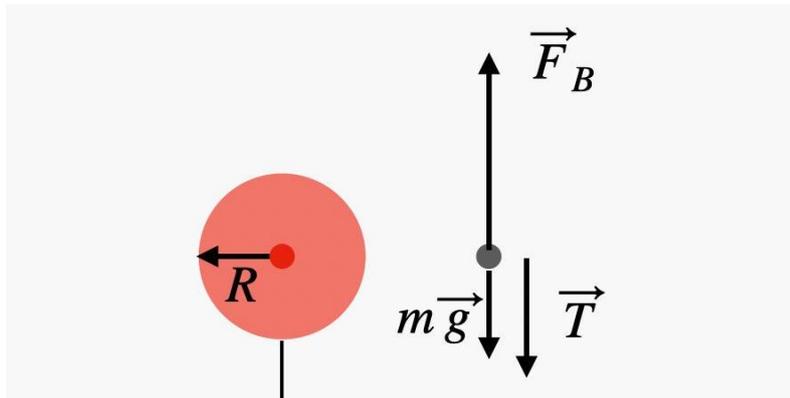


Figura 7 - Diagrama de corpo livre de um balão flutuante / Fonte: Autoria própria

7.2 Arrasto aerodinâmico

O arrasto que um objeto sofre, quando sujeito a ventos, é definido como:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho v^2 C_D A \quad (8)$$

onde:

F_D = força de arrasto [N]

ρ = densidade do fluido [Kg/m³]

v = velocidade do fluido [m/s]

C_D = coeficiente de arrasto [adimensional]

A = área seccional [m²]

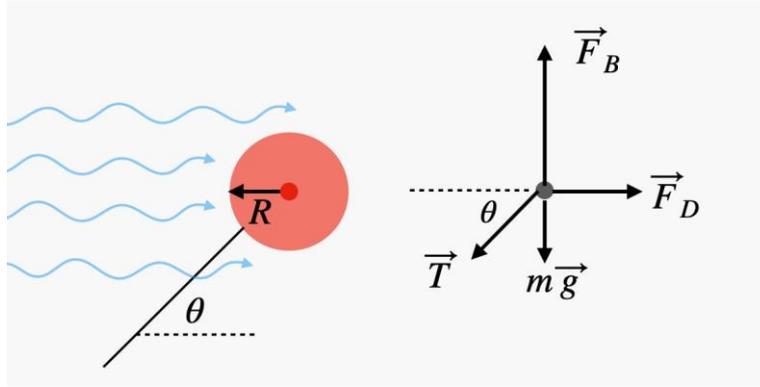


Figura 8 - Diagrama de corpo livre de um balão flutuante sujeito a ventanias / Fonte: Autorial própria

Quando esse balão está em estado de equilíbrio, mesmo sujeito a uma rajada de vento, isso implica que as forças verticais e horizontais se anulam, logo:

$$F_{net-x} = F_D - T \cdot \cos\theta = 0 \quad (9)$$

$$F_{net-y} = F_B - mg - T \cdot \sin\theta = 0 \quad (10)$$

E substituindo a Eq.(9) na Eq.(10) e expandindo com a Eq.(8), temos que:

$$\tan\theta = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \rho g - mg}{\frac{1}{2}\rho \pi R^2 C d^2} \quad (11)$$

8. Escala de Beaufort

A escala de Beaufort é uma escala empírica que visa medir a categoria da severidade e violência dos elementos marítimos. A atual possui 12 níveis. Ela foi visionada por um oficial inglês, como objetivo de conciliar a necessidade inerente do vento, levando em consideração que os navios em sua época eram movidos à vela, versus o perigo que o vento pode exercer em tempestades, gerando ondas monumentais. Apenas a título de curiosidade, gostaria de deixar observado que a primeira expedição na qual a escala foi utilizada oficialmente foi na do HMS Beagle, que trouxe Charles Darwin ao Brasil. Ou seja, o nível 0 da Escala Beaufort implica um mar calmo, sem ondas, e com ventos a menos de 0.5 m/s, e um nível 12 implica um ciclone, com ondas que ultrapassam 13 metros de altura e ventos que ultrapassam 32 m/s. Para calcular o patamar na escala em um determinado local, deve-se medir a velocidade do vento, utilizando um anemômetro, a 10 metros de altura do local, e a partir disso realizar a seguinte conta:

$$B = 25 \left(\frac{2}{209} \right)^{2/3} V^{2/3} \quad (12)$$

Tabela 1 – Categorias Meteorológicas de Beaufort

Grau	Designação	m/s	km/h	nós	Aspecto do mar
0	<i>Calmo</i>	<0,3	<1	<1	Espelhado
1	<i>Aragem</i>	0,3 a 1,5	1 a 5	1 a 3	Pequenas movimentações na superfície do mar
2	<i>Brisa leve</i>	1,6 a 3,3	6 a 11	4 a 6	Ligeira ondulação sem rebentação
3	<i>Brisa fraca</i>	3,4 a 5,4	12 a 19	7 a 10	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>cameiros</i>
4	<i>Brisa moderada</i>	5,5 a 7,9	20 a 28	11 a 16	Ondulação até 1 m, <i>cameiros</i> frequentes
5	<i>Brisa forte</i>	8 a 10,7	29 a 38	17 a 21	Ondulação até 2.5 m, com cristas e muitos <i>cameiros</i>
6	<i>Vento fresco</i>	10,8 a 13,8	39 a 49	22 a 27	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos
7	<i>Vento forte</i>	13,9 a 17,1	50 a 61	28 a 33	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos
8	<i>Ventania</i>	17,2 a 20,7	62 a 74	34 a 40	Mar revolto até 5 m com rebentação e faixas de espuma
9	<i>Ventania forte</i>	20,8 a 24,4	75 a 88	41 a 47	Mar revolto até 7 m; visibilidade precária
10	<i>Tempestade</i>	24,5 a 28,4	89 a 102	48 a 55	Mar revolto até 9 m; superfície do mar branca
11	<i>Tempestade violenta</i>	28,5 a 32,6	103 a 117	56 a 63	Mar revolto até 11 m; pequenos navios sobem nas vagas
12	<i>Furacão</i>	>32,7	>118	>64	Mar todo de espuma, com até 14 m; visibilidade nula

Iremos, a partir dessa informação, assumir que o caso mais extremo no qual o balão será utilizado seria numa categoria 8, *Ventania*, pois em situações mais extremas que essa, como uma categoria 9, *Ventania Forte*, a visibilidade já será debilitada, invalidando todo o objetivo primário do balão, e possivelmente seu lançamento irá causar mais dificuldades do que benefícios, como arrasto ao bote.

Logo, a situação-limite de velocidade de vento a que iremos dimensionar o balão será de 20,7 m/s.

9. Justificativa

Nesta seção, iremos tratar dos principais aspectos a serem projetados nesse sistema, tais como:

- Formato
- Dimensionamento
- Altura do balão
- Refletor de radar
- Cor
- Design
- Cabo

9.1 Formato

Diversos fatores devem ser levados em consideração na escolha do formato do balão, entre eles:

- Facilidade de desdobra na hora do lançamento;
- Maior visibilidade possível, independentemente do ângulo no qual o observador olha para o balão;
- Menor coeficiente de arrasto aerodinâmico possível;
- Maior assinatura de radar possível;
- Maior razão possível entre o volume do gás versus a área de superfície do material, pois diminui o peso total do sistema e, como as moléculas de gás acabam “vazando” pelos poros da superfície do balão com o tempo, uma razão grande fará com que ele se mantenha flutuante por mais tempo.

Consequentemente, visto essas demandas, fica óbvio que o formato do balão deve-se aproximar o máximo possível de uma aproximação esférica. Isso se deve ao fato de que ela é o formato com maior volume versus área de superfície possível, a imagem que ela projeta é a mesma, e de mesmo tamanho independentemente do ângulo de seu observador, dada uma distância constante (será sempre um círculo de diâmetro constante). Além disso, seu perfil máximo de assinatura de radar e coeficiente de arrasto dinâmico são bem razoáveis em comparação a outros formatos, independentemente do ângulo de incidência ou observação, sendo eles:

- Coeficiente de arrasto aerodinâmico $\rightarrow 0.47$
- Perfil máximo de assinatura de radar $\rightarrow \sigma_n = \pi \cdot r^2$

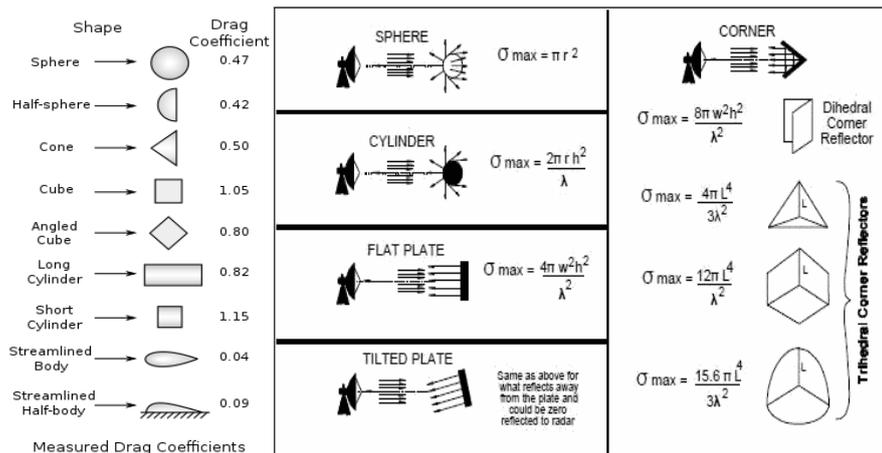


Figura 9 - Coeficiente de arrasto aerodinâmico e perfil máximo de assinatura de radar de uma esfera / Fonte: *Theoretical Aerodynamic L. M. Milne-Thomson 1948*

9.2 Dimensionamento

Essas dimensões foram esboçadas devido a diversos parâmetros. Primeiramente, os sistemas de alerta e localização por satélite (EPIRB) atuais, disparados no momento de naufrágio, emitem imediatamente um sinal de socorro, e, tendo esse sinal, equipes de resgate triangulam sua posição aparente. Nos modelos mais obsoletos ainda em uso oficial atualmente, ela pode ser triangulada a uma precisão de 5 a 2 Km, dependendo das condições como o tempo, correntes de superfície etc. [6]. Logo, é de interesse maior que nosso sistema seja visualmente perceptível, sem o auxílio de radares, eletrônicos, sinalizadores químicos, ou seja, a olho nu a no mínimo 5 Km. Essa figura de 5 Km também é importante por outro fator, pois um observador a 2 metros de altura do nível do mar consegue ver a uma distância máxima de 5 Km até o horizonte [7]; a partir disso, a própria curvatura da Terra começa a obstruir. Ou seja, até uma margem 5 Km é possível o naufrago também visualizar, dependendo das condições do mar, as equipes de resgate ou navios passantes (ou os próprios destroços do navio naufragado), podendo assim se utilizar de recursos adicionais de sinalização, como sinalizadores pirotécnicos, espelhos de sinalização ou avisos sonoros, caso haja necessidade.

Para calcular o tamanho necessário para ele ser visível a essa distância, devemos nos ater ao seu diâmetro angular aparente; ou seja, quantos graus esse objeto permeia no campo de visão no ponto de vista de um observador a uma certa distância. Um bom exemplo desse parâmetro é a comparação do Sol com a Lua; o Sol é 400 vezes maior que a Lua, porém está 400 vezes mais distante do observador (Terra), logo ambos aparentam ter um mesmo tamanho no céu [8]. E, a partir disso, devemos saber qual é a resolução mínima angular que o olho humano nu tem, para que o tamanho do balão seja compatível e que ele possa chamar a atenção do observador quando avistado.

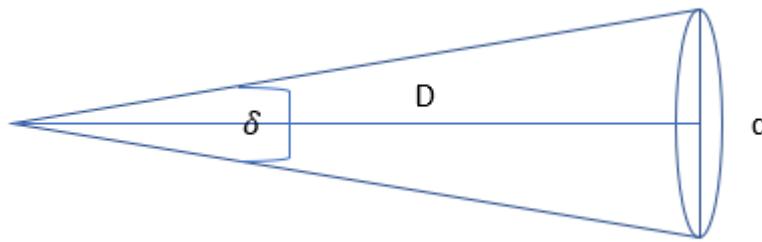


Figura 10 - Diâmetro angular aparente de um objeto / Fonte: Autoria Própria

Sendo que:

$$\delta = 2 \arctan\left(\frac{d}{2D}\right) \quad (13)$$

Sabemos que o olho nu saudável possui uma resolução angular mínima de 0.017° ou 0.0003 radianos [9], aproximadamente uma formiga de 1mm vista a 2 metros de distância.

De posse dessa informação, usaremos a fórmula de diâmetro angular aparente para descobrir qual o diâmetro que o balão deve ter para que projete uma imagem de no mínimo 0.017° ou 0.0003 radianos de tamanho no campo de visão de um observador, versus sua distância desse respectivo observador [em metros].

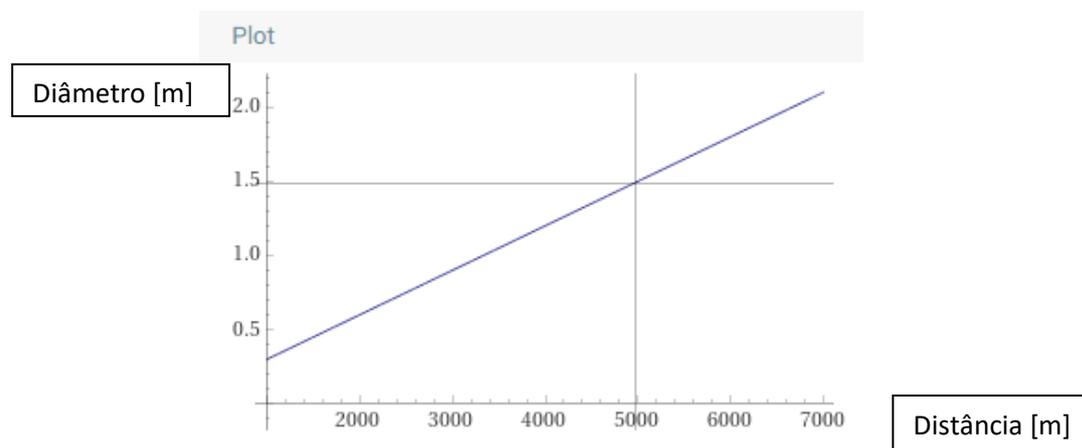


Figura 11 - plot da distância que uma esfera pode ser vista a olho nu versus seu respectivo diâmetro / Fonte: Autoria Própria

plot	$g = \left 2 y \tan\left(\frac{0.0003}{2}\right) \right $	$y = 1000 \text{ to } 7000$
------	--	-----------------------------

Figura 12 - Comando de Input / Fonte: Wolfram Alpha

Como estamos interessados na distância mínima de visualização a olho nu de 5 Km, devido aos motivos já mencionados anteriormente, esse balão precisa ser de tal tamanho que aparente uma angulação maior que 0.017° ou 0.0003 radianos a essa referida distância. Como já dito, um balão esférico apresenta o benefício de ter uma imagem de perfil de mesmo formato e tamanho, um círculo de diâmetro constante, independentemente de que ângulo ele é observado [a uma mesma distância]. Ou seja, o balão deve ter no mínimo 1.5 metros de diâmetro.

Input
$2 \times 5000 \tan\left(\frac{0.0003}{2}\right)$
Result
1.50000...

Figura 13 - Conta de diâmetro mínimo / Fonte: Wolfram Alpha

Porém, caso o balão seja grande demais, ele pode conseqüentemente gerar um arrasto maior devido aos ventos, e invariavelmente ele necessitará de mais cilindros de gás hélio comprimido. Pensando nessa limitação, devemos nos ater aos materiais já disponíveis em um barco salva-vidas de casco rígido padrão (“*lifeboats*”); por lei internacional, eles devem vir instalados com cilindros de ar comprimido, suficiente para abastecer a tripulação com oxigênio por algumas horas [10]. Esses cilindros são necessariamente de um volume de 50 litros, e todos os *lifeboats* já possuem, por lei, estrutura e sistemas dimensionados para acomodá-los.

Logo, devemos pensar o dimensionamento do balão observando já essa propriedade. Conseqüentemente, é de interesse nosso pensar no volume total do gás no balão, e por conseguinte seu tamanho, em termos desses cilindros. Um cilindro de 50L de hélio possui 8 m^3 do gás. Caso fossem utilizados n cilindros para encher um balão esférico, eles teriam um raio de:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 = 8n \quad (14)$$

Tabela 2 – Relação n° de cilindros vs. Diâmetro Esférico

n cilindros	Raio esférico do Balão [Metros]	Diâmetro esférico do Balão [Metros]
1	1.2407	2.4814
2	1.5632	3.1264
3	1.7894	3.5786

Lembrando que não necessariamente devem ser utilizados todos os cilindros de forma a encher o maior balão possível. Por exemplo, pode-se ter 3 cilindros instalados no bote salva-vidas, porém caso for inflado um balão de diâmetro de 3.1264, dimensionado para 2 cilindros, pode-se inflar o balão, esperar até ele murchar e descender, e reinflá-lo com o terceiro cilindro, aumentando sua vida útil. Porém, em contrapartida, um balão maior e com mais gás permanecerá mais tempo flutuando. Nesse quesito de vida útil, diversos fatores complexos devem ser levados em consideração, tornando-se quase impossível modelar uma estimativa. Porém, com base em experimentos empíricos, um balão dessas dimensões preenchido com gás hélio se mantém flutuante por volta de ~4 dias.[11]

9.3 Altura do balão

Aqui entra um dos parâmetros mais delicados para se determinar. Por um lado, idealmente o balão deve estar o mais alto possível, pois assim ele será visto a uma maior distância. Porém, um posicionamento mais alto também pede por mais cabo, e, com mais cabo, mais peso será adicionado ao sistema. Somado a isso, quanto maior sua altura, mais ele estará sujeito também a fortes ventos, pois quanto mais próximo à superfície do oceano, mais amenizados os ventos serão, aumentando exponencialmente sua intensidade de acordo com a altitude (conforme ilustrado na Figura XIX).

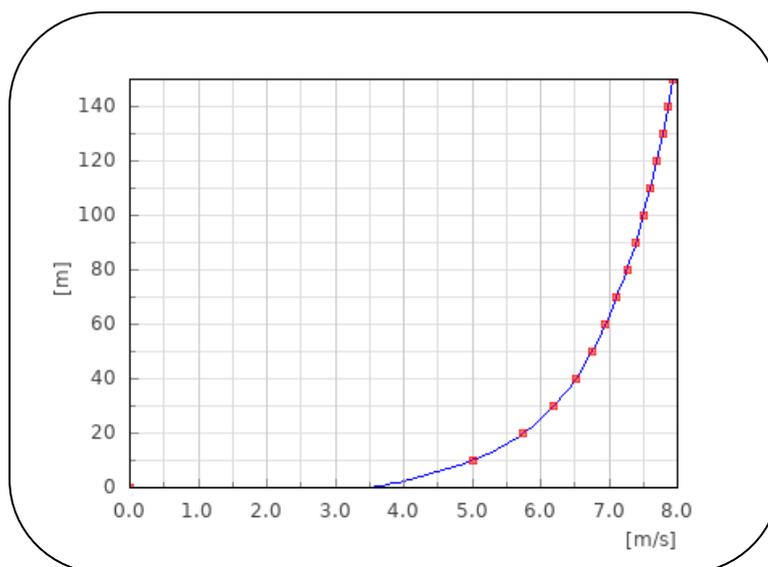


Figura 14 - Gráfico comparativo entre velocidade do vento e altura / Fonte: Meteorologia - João Baptista Sonnemaker, 2002

Também deve ser considerada a distância máxima na qual esse balão pode ser observado antes que seja obstruído pela curvatura da terra, ou seja, o horizonte. Dada a altura exemplo de 100 metros, e o observador no nível do mar, esse balão pode ser (teoricamente) visto até 35 Km de distância, o que pode ser útil com o auxílio de binóculos.

Vamos nos ater a nossa distância requerida de 15 Km, pois é essa a distância que engatilha a resposta de localização do SART, ou seja, quando um veículo de resgate chega a uma distância de 15 Km do equipamento, ele é passivamente acionado, e começa a ser emitido um sinal de direcionamento na tela de radar do veículo. Precisamos de uma altura mínima que permita que, no momento em que seja engatilhada a resposta de chamada do radar dos veículos de busca, o balão também tenha uma linha direta de visão com esse veículo, sem ser obstruído pelo horizonte e podendo assim ser diretamente avistado com binóculos, câmeras infravermelhas ou zoom ótico.



Figura 15 - Raio de 15 Km com seu centro fixado no campus da PUC-Rio / Fonte: Google Earth

Porém, há nuances para essa questão. Não necessariamente o balão estará perpendicular ao nível do mar a todo tempo. Ele pode vir a se inclinar devido aos ventos, ou perder altitude devido à perda de gás Hélio. Conseqüentemente, deve-se assumir uma margem de segurança para que mesmo nessas condições ele ainda seja visto a distância máxima. Para isso, vamos assumir também que o balão está sob fortes ventos, ou ligeiramente murcho, e conseqüentemente inclinado a um ângulo de 45° (pois, além desse ângulo, qualquer aerofólio entra em estol; os motivos e detalhes dessa situação serão discutidos na seção 10.7). Logo, sua altura real será menor, no caso multiplicada por seno de 45° ($\sqrt{2}/2$).

A partir disso, vamos determinar em qual altura esse balão deve permanecer, para que numa situação-limite, ou seja, quando ele se encontra inclinado, a 45° , ele ainda apresente uma linha direta de visão até um veículo de procura que ative seu dispositivo de localização por radar (SART) no seu alcance máximo, que é de 8 milhas náuticas, aproximadamente 15 Km.

$$15000 = \sqrt{x(x + 2 \cdot 6.378 \cdot 10^6)} \quad (15)$$

$$x = 17.639$$

$$\text{Sen}(45^\circ)x = 17.639$$

$$x = 24.945$$

Para isso, utilizaremos a fórmula de “*line of sight*”, ou seja, a distância máxima em que um objeto a certa altura possa ser visto por um observador a certa altura, antes que a curvatura da Terra obstrua a visão entre os dois.

$$d_{lof} = \sqrt{2 * h1R + h1^2} + \sqrt{2 * h2R + h2^2} \quad (16)$$

onde:

R = raio da Terra ($6.38 * 10^6$ m)

$h1$ = altura do primeiro observador [m]

$h2$ = altura do segundo observador [m]

Ou seja, uma altura de 30 metros é o mínimo para que este balão, mesmo sob fortes ventos e conseqüentemente inclinado 45° , ainda tenha uma linha de visão direta para um observador no nível do mar a uma distância de 14 Km.

9.4 Refletor de Radar

O sistema proposto também faz uso de instrumentos já presentes em botes salva-vidas devido à regulamentação internacional. O refletor de radar, por exemplo, é um instrumento metálico com ângulos retos que permitem que ondas de radar voltem pelo mesmo ângulo de incidência, aumentando sua assinatura de radar. Esses instrumentos são instalados em partes altas de barcos e navios, pois assim ficam mais “visíveis” ao radar, longe das ondas na superfície do mar, que podem interferir com a leitura.

9.5 Cor

A cor do balão também deve ser considerada, por mais que pareça detalhe. Por exemplo; o balão não pode ser colorido com tons azuis, pois obviamente ele irá se “camuflar” contra o céu ou contra o mar, nem com tons escuros, pois eles tendem a chamar menos atenção contra um cenário de tons claros, e são os mais afetados pela escuridão da noite. Tendo isso, é sabido devido a diversas pesquisas e prática em campo que a cor que mais cumpre esse papel é o “*safety orange*” (Inglês para Laranja de Segurança), já que laranja é a cor mais complementarmente contrastante do Azul, e esse tom em particular é bastante artificial e chamativo, sendo o favorito, às vezes legalmente requerido, para o uso em coletes salva-vidas, botes salva-vidas etc. Ela foi desenvolvida em decorrência de uma extensa pesquisa feita pelo governo americano para uma cor que mais chamasse atenção para cones e coletes salva-vidas.

COORDENADAS DA COR	
HEX TRIPLET	#FF7900
SRGBB (R, G, B)	(255, 121, 0)
HSV (H, S, V)	(28°, 100%, 100%)
CIELCHUV (L, C, H)	(66, 127, 28°)



Figura 16 - Safety Orange ("Laranja de Segurança") / Fonte: Domínio Público

9.6 Design do balão

Um dos maiores desafios que o balão enfrentará será o arrasto que ele irá sofrer quando sujeito a fortes ventos. Pesquisando possíveis remediações para essa questão, percebo que há uma solução já em prática: um formato de “*kytoon*” [junção das palavras inglesas *kite* e *balloon*, pipa e balão, respectivamente].



Figura 17 - Um "kytoon" em operação / Fonte: Wikimedia Commons

Esse formato de balão é especializado em converter, por meio de um aerofólio, rajadas de vento em um empuxo vertical ascendente, possibilitando um sistema mais estável em condições meteorológicas adversas, como se fosse uma pipa. Ou seja, quando há ausência de vento, o sistema se comporta como um balão normal, mas à medida que a força do vento começa a inclinar o sistema, o aerofólio fica cada vez mais exposto e, a partir disso, começa a transformar arrasto aerodinâmico em empuxo positivo, e o sistema começa a funcionar como uma pipa.

Com esta tecnologia, pode-se utilizar o vento para auxiliar a carga útil do sistema. Esse sistema pode ser dobrável para fácil lançamento e permite um empuxo positivo maior mediante a presença de vento. Além disso, o sistema também permite que, mesmo sujeito a fortes ventos, o balão se mantenha posicionado a no máximo 45° em relação ao nível do mar; caso a força do vento ultrapasse esse limite de inclinação, o aerofólio deixa de produzir empuxo (os motivos e técnicas serão discutidos na próxima seção). Nesse caso extremo, o sistema não sustentará mais a si mesmo e irá entrar em processo de queda. Além disso, ele ajuda na estabilidade total do sistema, centralizando-o e diminuindo seus movimentos esporádicos, em comparação a um balão tradicional, que está sujeito à turbulência dos ventos.

9.7 Cabo

O cabo ideal a ser usado deve ser composto de material específico, devido aos motivos que iremos listar em seguida. Ele deve suprir exigências mínimas de tração e ser capaz de superar as dificuldades a que estará sujeito no cenário que estamos propondo; para isso listo aqui suas características necessárias.

O cabo ideal deve:

1. Ser não metálico, para não interferir com ondas de rádio e não atrair raios durante tempestades;
2. Ser leve, tanto seco quanto molhado, e ter flutuabilidade positiva, ou seja, não afundar por si só;
3. Ser resistente à tração (que será calculada mais adiante) e ao ambiente marítimo; ventos fortes, chuvas, radiação solar, etc.

A partir disso vamos calcular as forças a que esse cabo estará submetido. Como está sendo proposto um sistema “kytoon” para esse modelo, precisamos assumir que quando não há vento o sistema se comporta apenas como um balão, e quando há vento o sistema se comporta como uma pipa. Logo, devemos encontrar as forças atuantes nessa pipa.

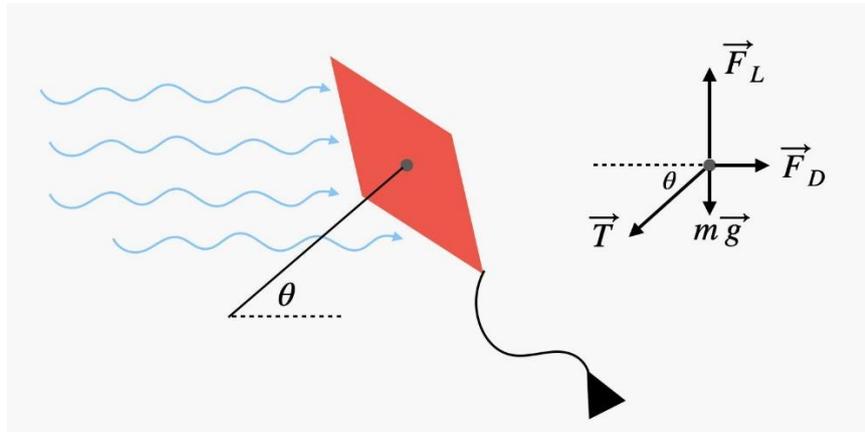


Figura 18 - Diagrama de corpo livre de uma Pipa / Fonte: Autoria Própria

Logo, quando a pipa está em equilíbrio:

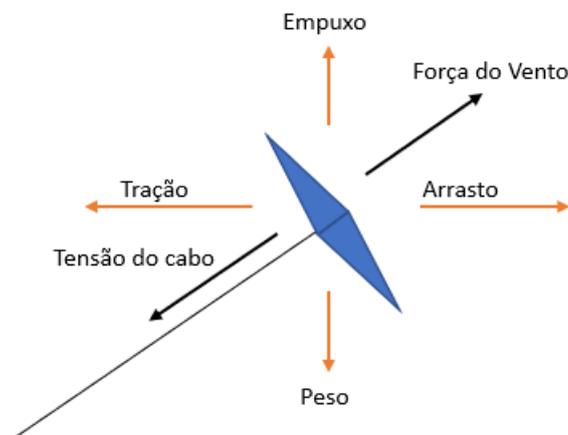


Figura 19 - Notar que a soma dos vetores de Empuxo e Arrasto resulta no vetor Força do vento, que é igual em magnitude ao vetor Tensão de Cabo, resultado da soma dos vetores peso e tração / Fonte: Autoria Própria

Como o sistema deve se comportar tanto como um balão quanto como uma pipa, o arrasto aerodinâmico deve se comportar como um objeto só; conseqüentemente, podemos modelar as características aerodinâmicas de arrasto da pipa com base nas características aerodinâmicas do balão esférico, pois nunca será maior que isso; caso fosse, isso implicaria que a pipa não está agindo como uma pipa propriamente dita, ou seja, um aerofólio. Portanto:

$$\frac{1}{2}\rho\pi R^2 C v^2 = \frac{1}{2}\rho A_k C_K v^2 \quad (17)$$

sendo:

A_k = área efetiva da Pipa [m^2]

C_k = coeficiente de arrasto aerodinâmico da Pipa [adimensional]

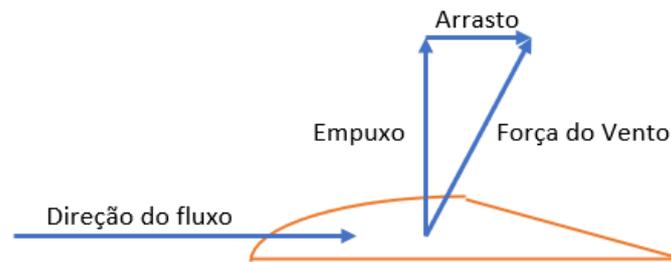


Figura 20 - Um aerofólio simples, no nosso caso será uma pipa / Fonte: Autoria Própria

Isso é claramente uma generalização: um aerofólio, ao contrário de uma esfera, tem arrastos aerodinâmicos diferentes dependendo do seu formato, seu ângulo de ataque e a velocidade do vento incidente. Toda a ideia de um aerofólio é exatamente a de converter um arrasto aerodinâmico horizontal em empuxo vertical positivo, na qual essa razão é chamada de “Coeficiente de Sustentação”. Mas, para fins de modelagem, haverá essa substituição, pois é a situação mais extrema, ou seja, no momento em que um aerofólio simples, neste caso a pipa, está em seu limite de sustentação, seu coeficiente de sustentação será igual a 1, isto é, além disso ele não se sustenta mais passivamente e começa a despencar, situação denominada estol [12].

Conseqüentemente, devemos nos ater a um ângulo máximo de 45° , para o qual um aerofólio simples se mantém neutro quando o balão está em situação sem vento (perpendicular ao nível do mar). Ou seja, além desse ângulo, o sistema entra em estol, a força proveniente do vento chocando-se contra o aerofólio adicionará mais para o vetor vertical negativo do que para o vertical positivo, e o objeto começa a perder sustentação e, eventualmente, cair.

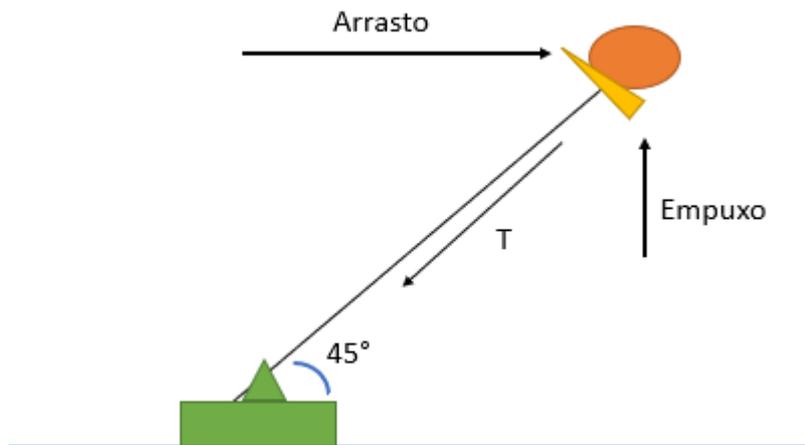


Figura 21 - Situação limite de ventania na qual o sistema ainda se sustenta. / Fonte: Autoria Própria

A partir disso, fica claro que, em magnitude, o empuxo (vertical) será igual ao arrasto (horizontal) na situação limite em que o balão está inclinado sob fortes ventanias em seu ângulo máximo de 45°. Conseqüentemente, pela soma dos vetores, a tensão T sofrida pelo cabo, em função do arrasto aerodinâmico D , será:

$$T = \sqrt{2} \cdot D \quad (18)$$

Podemos então utilizar a fórmula de arrasto aerodinâmico (Eq.(8)) baseada na situação limite escolhida, ou seja, a de ventania (20 m/s), para descobrir a tensão final a que esse cabo estará sujeito, mediante os diferentes tamanhos de balões propostos na tabela anterior.

Tabela 3 – Relação Raio vs. Tensão gerada no cabo

Raio do Balão [m]	Arrasto Aerodinâmico [N]	Tensão cabo [N]
1.24	590.28	834.78
1.56	934.26	1321.24
1.78	1216.35	1720.19

Dadas essas condições, chegou-se à conclusão de que a melhor escolha de cabo para esse sistema está na categoria de linhas de *Kite Surf*, pois de certa forma elas foram projetadas para um cenário muito parecido ao proposto aqui. Em seguida, apresentamos um exemplo de linha popular de *Kite Surf* [13], que possui um fator de segurança de quase 2, e suas respectivas características.

- Diâmetro: 3.8 mm
- Tensão Máxima: 3263.4 N
- Módulo de Young: 288 MPa
- Peso: 7.84 Newtons/100 metros
- Material: Polietileno

9.8 Peso

Podemos então calcular aproximadamente o peso total que esse balão irá ter já equipado com todos os instrumentos e artifícios propostos, e comparar com o empuxo positivo que cada tamanho de balão pode proporcionar.

Tabela 4 – Peso seco

Item	Peso	Fonte
Balão	39.2 Newtons	[14]
Aerofólio	19.6 Newtons	[15]
Refletor de Radar	3.43 Newtons	[16]
Cabo	7.84 Newtons	[17]
SARTs	4.41 Newtons	[18]

Gerando um peso total aproximado de 74.48 Newtons. Deve-se observar que toda a função do Aerofólio é converter ventos incidindo no balão em empuxo positivo, mas analisando um cenário sem vento, no qual o balão deva se sustentar por empuxo próprio gerado pelo gás, os balões propostos terão os seguintes empuxos ascendentes, que também podem ser encarados como carga útil (ver Tabela 5).

Tabela 5 – carga útil

Raio do balão [m]	Empuxo positivo sem carga	Empuxo positivo com carga
1,24	87 Newtons	12.54 Newtons
1,56	174 Newtons	99.56 Newtons
1,78	261 Newtons	186.6 Newtons

Conclusão

10. Conclusões

Concluo, então, que esforços de busca e resgate em alto mar podem muito ser auxiliados, em diversos aspectos, com a implementação nos botes salva-vidas de um sistema de inflagem manual de um balão esférico ancorado, com no mínimo 2.5 metros em diâmetro, utilizando gás hélio comprimido. Esse balão permanecerá ancorado ao bote via um cabo de polietileno, e junto com ele estará acoplado um refletor de radar e um SARTs, exigidos em todo bote salva-vidas por lei internacional, além de outros equipamentos eventuais de resgate com emissão de sinais de rádio. Esse cabo deve ter um comprimento mínimo de 30 metros, pois assim, mesmo inclinado em seu ângulo limite de 45°, o balão ainda terá uma altura efetiva em relação ao nível do mar, suficiente para ter uma linha de visão direta com veículos de resgate que acionem e se comuniquem com seu transponder (SART) quando ele for ativado (ou seja, ele não estará obstruído além do horizonte), a uma distância de 8 milhas náuticas, aproximadamente 15 Km. Além disto, o balão deve possuir um aerofólio, tornando o conjunto um “*kytoon*”, pois assim, quando ele for submetido a ventos, o aerofólio poderá converter o arrasto horizontal gerado pelo vento em empuxo positivo, além de estabilizar. Esse balão terá dimensões decorrentes do volume de gás em relação à quantidade de cilindros de hélio que estarão presentes nos botes salva-vidas já que, por lei, eles possuem essa infraestrutura para receber cilindros similares, idealmente sendo utilizados 2 cilindros de 50 litros de hélio, gerando um balão de 3 metros de diâmetro.

Dessa forma, equipes de resgate terão mais facilidade para visualizar esse bote a distâncias muito maiores, pois assim, essa visualização não fica restrita apenas ao bote e à sua respectiva altura, os quais podem ser facilmente obstruídos pelas ondas e pelo horizonte. Isso também se aplica ao uso de radares, levando em consideração que esse balão também pode ser por eles reconhecido. Além disso, com o uso do balão, podem ser utilizados os eletrônicos emissores de sinal (como rádio) com maior eficiência, pois, como é sabido, antenas se beneficiam da altura para melhorar a dispersão de seu sinal.

Tudo isso somado a um reduzido custo, levando-se em consideração a sua aplicação em prol da vida humana. Além de, claro, já se aproveitar de diversos artifícios já presentes nos botes salva-vidas, exigidos por lei internacional, de forma a trabalhar sinergicamente com o sistema como um todo.

11. Referências Bibliográficas

- **COMMUNITY EMERGENCY RESPONSE TEAM** Participant Handbook, Federal Emergency Management Agency Emergency Management Institute National Fire Academy, maio 94

- **Students' Conception on Sizes and Distances of the Earth -Moon- Sun Models**

August 2012, European Journal of Social Sciences

- **Theoretical Aerodynamics**, L. M. Milne-Thomson, 1948

- **Human Vision and Perception**

January 2015

DOI:10.1007/978-3-319-00295-8_46-1

In book: Handbook of Advanced Lighting Technology Publisher: Springer