

PROJETO DE UM HOVERCRAFT

Carlos Lavrado Filho

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FEAU
Av. Shishima Hifume, 2911, Urbanova, 12244-000
São José dos Campos, SP
eng.lavrado@gmail.com

Humberto Araújo Machado

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial – CTA, Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-904
São José dos Campos, SP
humbertoam@iae.cta.br

Resumo: Neste trabalho foi desenvolvido o projeto de construção de um hovercraft anfíbio, capaz de se deslocar sobre o solo e sobre a água, através de um colchão de ar, sendo assim classificado como ACV (Air Cushion Vehicle). Após um histórico e uma breve descrição dos hovercrafts, suas vantagens e aplicações, é apresentado o desenvolvimento de um modelo de pequeno porte, com sistema de sustentação por câmara plena com saia lateral. São apresentados o pré-dimensionamento, o detalhamento, a previsão de custo, a conclusão e a construção de um protótipo em escala reduzida.

Palavras-chave: Hovercraft, Máquinas de Efeito em Solo, Câmara Plena.

1. INTRODUÇÃO

O hovercraft foi inventado pelo engenheiro inglês Sir Christopher Sydney Cockerell em 1954. Através de um Experimento com materiais domésticos, utilizando duas latas, um secador de cabelo, e uma balança, ele descobriu o princípio de funcionamento do hovercraft, observando as diferenças de pressão produzida. Sua invenção buscava reduzir o atrito das navegações através de um colchão de ar. Seu primeiro modelo foi feito baseando-se no sistema de jato periférico, que foi realizado em 1955, quando a empresa britânica Saunders-Roe, fabricante de aviões, desenvolveu o primeiro hovercraft funcional e viável para transporte de passageiros, o SR-N1. Esta máquina funcionou em teste entre 1959 a 1961 (com primeira exibição pública em 1959), incluindo uma travessia do Canal da Mancha. Descobriu-se nestes testes que a flutuação do hovercraft é melhor com a adição de uma "saia" de tecido flexível ou de borracha em volta de sua borda, para reter o ar (Cross, 1975).

Como os hovercrafts são sustentados por um colchão de ar, são considerados máquinas com efeitos em solo (wing-in-ground). É um meio de transporte que tem acesso a vários tipos de terrenos, considerado como um *allroad*: água, lama, areia, gelo, terra, grama. São divididos em três categorias: Anfíbios, Não-Anfíbios e Semi-Anfíbios.

Neste trabalho é proposto o projeto de um hovercraft de pequeno porte, com carga útil de 90 a 140 kg (aproximadamente 200 lb e 300 lb), que poderá ser usado por até duas pessoas, com sistema de sustentação por câmara plena com saia flexível lateral, utilizando apenas um motor, construído com alguns materiais recicláveis, de fácil manutenção e controles simplificados, de forma que qualquer pessoa com alguma noção de controle possa manobrar a máquina (Lavrado Filho, 2006).

O projeto do Hovercraft Anfíbio de baixo custo, que futuramente será utilizado para fins comerciais, oferecerá aos seus usuários a capacidade de desfrutar dos privilégios de um meio de transporte all-road, tanto para lazer como para fins específicos como resgate em áreas de alagamento, corridas, pesca, veículo de exploração em rios e lagos, etc. Observando que mesmo sendo all-road, não trafega por solo muito acidentado

2. HOVERCRAFT

2.1. Princípios de Funcionamento

O princípio básico de funcionamento de um hovercraft é por meio de um colchão de ar, onde esse colchão de ar sustenta o veículo devido à pressão interna do colchão de ar ser maior do que a pressão externa exercida sobre o veículo (Elsley & Devereux, 1969).

O peso de um hovercraft fica distribuído sobre a área sustentada e é dividido pela área da pressão necessária para anular a força peso do veículo. Esse sistema é conhecido como veículo com colchão de ar (*Air Cushion Vehicle - ACV*). Esse colchão de ar pode ser gerado por um ou mais motores. O colchão de ar é responsável por sustentar o veículo acima da superfície (solo ou lâmina d'água).

O princípio básico da sustentação de um hovercraft é simples, basta que o colchão de ar seja realimentado constantemente, com a alimentação feita através do(s) motor(es), com hélice(s) ou compressor(es), e a vazão pode ser direta sobre o solo (câmara plena) ou pode ser através de dutos de ar (jatos periféricos).

Um hovercraft pode utilizar um único motor, de onde deve ser retirado o fluxo de ar necessário para a sustentação e para a propulsão. Como a maioria dos hovercrafts é anfíbia (podem andar sobre fluidos ou pelo solo), devem ter uma plataforma flutuante caso ocorra algum dano ao sistema de sustentação (Figura 1).

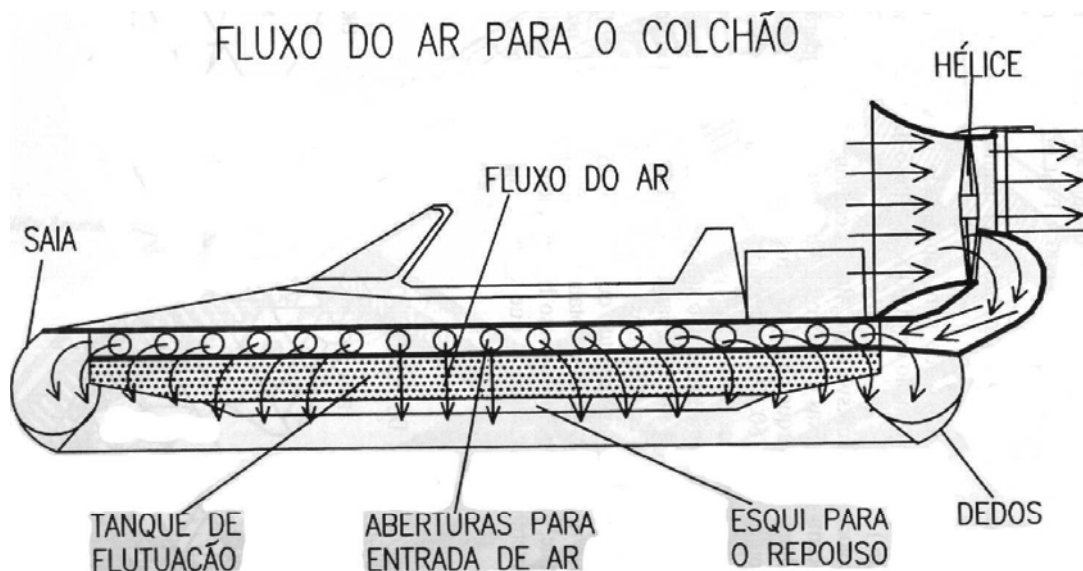


Figura 1: Hovercraft com um Motor (sustentação e propulsão), extraído de Elsley & Devereux, (1969).

O desempenho é aumentado com a adição de saia flexível, que pode ter dedos (pequenas bolsas cônicas ao redor da saia principal) e ser estriada ou lisa.

Os hovercrafts de grande porte utilizam mais de um motor, responsáveis pela alimentação do colchão de ar através de compressores ou pela propulsão e controle direcional (Figura 2).

Um ACV pode ter diversos tipos de sustentação, mas as duas principais são; jatos periféricos e câmara plena. No sistema de sustentação por câmara plena a pressão é exercida diretamente sobre o solo, e no sistema de jatos periféricos o ar fica retido entre os jatos de ar e a parte rígida. Sendo que cada configuração pode ter uma saia flexível acoplada na parte inferior (Figura 2).

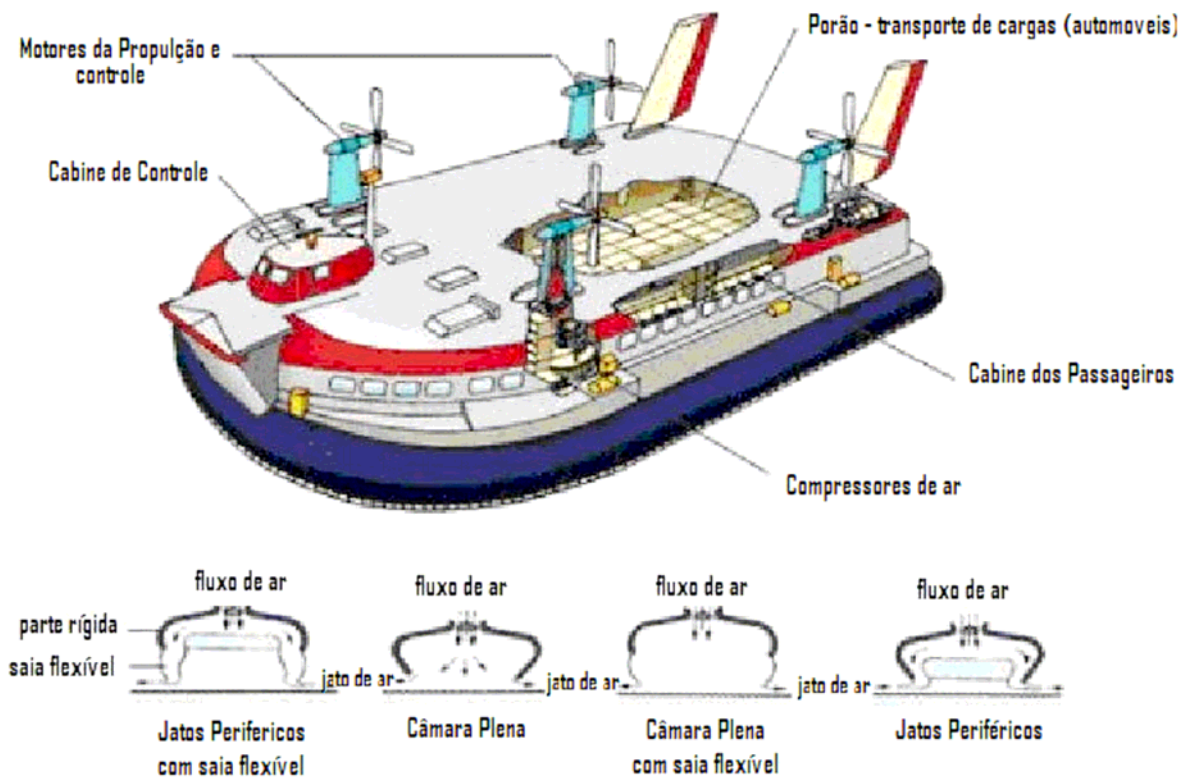


Figura 2: SRN4 - Hovercraft de grande porte e os sistemas de sustentação (Cross. 1975).

2.2. Classificação

Os Hovercrafts são classificados como anfíbios, não-anfíbios e os semi-anfíbios (Cross. 1975).

Os hovercrafts anfíbios são dimensionados para resistirem a maiores oscilações de superfície, sendo designados para enfrentar ondas e correntezas, também são resistentes a grandes inclinações, porém fora da água sofrem grande desgaste da saia.

Os Hovercrafts não-anfíbios são dimensionados para pequenas inclinações e não trafegam fora da água, seus colchões de ar apenas garantem sustentação para reduzir o arrasto gerado pelas pequenas ondulações provocadas pelo deslocamento da grande massa de ar.

Os Hovercrafts semi-anfíbios apresentam em sua configuração um caso rígido, e utilizam o sistema de sustentação por colchão de ar na parte frontal, apresentando configurações aquáticas ou terrestres, com melhor desempenho em zonas submersas.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Dimensionamento

Com base em modelos já construídos, o projeto foi desenvolvido utilizando um modelo de referência (UH- 10F – Universal Hovercraft of America, 2006), porém com diferente grupo moto-propulsor e com matérias de baixo custo (Figura 3).

Com os valores do comprimento e da largura, foram definidos com duas prioridades; Estabilidade, e a Geometria. Quanto à estabilidade, o modelo deve ter o comprimento duas vezes a sua largura, para evitar o movimento de rolagem excessiva. Quanto a sua geometria, optou-se por conceitos primários visando a fácil construção do projeto, o que resultou na forma retangular. Porém para evitar as tensões e o arrasto excessivo, as pontas devem ter um ângulo. Foi utilizada a ferramenta de projeto Rhinoceros for Windows (2002).

O LH-1(Lavradex Hovercraft – Nome do Modelo Proposto) segue o mesmo tipo de conceito, com um motor mais forte, porém com uma carga paga (*payload*) maior (Figura 4).



Figura 3: UH-10F, usado como base para o dimensionamento do projeto (Universal Hovercraft of America, 2006).



Figura 4: Configuração proposta para o LH-1.

O dados básicos selecionados para o projeto foram:

Comprimento:	2.4 m
Largura:	1.2 m
Altura do colchão de ar:	0.20 m
Peso total:	250 kg

Os Cálculos para dimensionar o LH-1 foram baseados em um programa utilizado por construtores de hovercrafts, o Lift Calculator (2006) que combina as fórmulas de distribuição de pressão por área, e cálculos de vazão em relação a altura da superfície.

Os resultados foram calculados e obtidos com maior precisão após ajustes nas formulas de dimensionamento, pois o veículo proposto conta com um sistema de propulsão maior e com sistema de sustentação por câmara plena, onde foi considerado que todo o ar que infla o colchão de ar terá uma vazão distribuída pela área inferior do LH-1, suportando uma coluna de 0.01 m de altura.

Com um colchão de ar de 0.2 m de altura, o modelo pode inclinar até 12.02°, considerando uma margem de segurança para o motor utilizado (Branco 4T – 13.0HP , motor estacionário). Os dados obtidos após o cálculo foram:

Perímetro do colchão de ar (m):	7.199985
Área da abertura do Colchão de ar (m ²):	0.071999
Área de Colchão de ar (m ²):	2.879987
Pressão do Colchão de ar (Pa):	851.2673
Velocidade prevista do ar (m/s):	22.49424
Volume de ar (m ³ /sec):	1.619578
Potência estimada do motor para a sustentação (HP):	3.081428
Diâmetro estimado do ventilador (m):	0.412523

3.2. Escolha do Motor.

Para a seleção do motor, foram determinantes como parâmetros de escolha o baixo custo, potência necessária e fácil obtenção. Foi feita uma seleção de alguns motores comerciais com as características expressas na Tabela 1.

Tabela 1: Motores selecionados e suas características.

Motores	Modelo	Potência (hp)	Peso (kg)	Óleo	Partida Elétrica	Combustível	Preço (R\$)
Honda	GX620	20	43	sim	sim	Gasolina	7672
	GX390	13	31	sim	sim	Gasolina	3075
	GX270	9		sim	não	Gasolina	2077
Caetano Branco	BD10	10	48	sim	sim	Diesel	3397
	B4T 13 OH	13	31	sim	não	Gasolina	1352
Toyama	TG13FX1	13	31	sim	não	Gasolina	1311
	TG13FEX	13	32	sim	sim	Gasolina	1520

Como foi obtido o valor da potência necessária para a sustentação, através das equações de dimensionamento e com referência aos dados acima, foi selecionado um motor de 13HP na Figura 5. Este conjunto moto-propulsor, juntamente com a hélice, será o responsável em fornecer o fluxo de ar necessário para a sustentação e propulsão.



Figura 5: Características do motor escolhido.

A curva de potência fornecida pelo fabricante do motor, Figura 6, garante o seu funcionamento em regime máximo de até 13 hp. Como o LH-1 funcionará com potencia contínua, o motor fornecerá 11 hp, onde 8 hp serão suficientes para a sustentação e o restante será usado para gerar o fluxo de ar responsável pela propulsão do veículo.

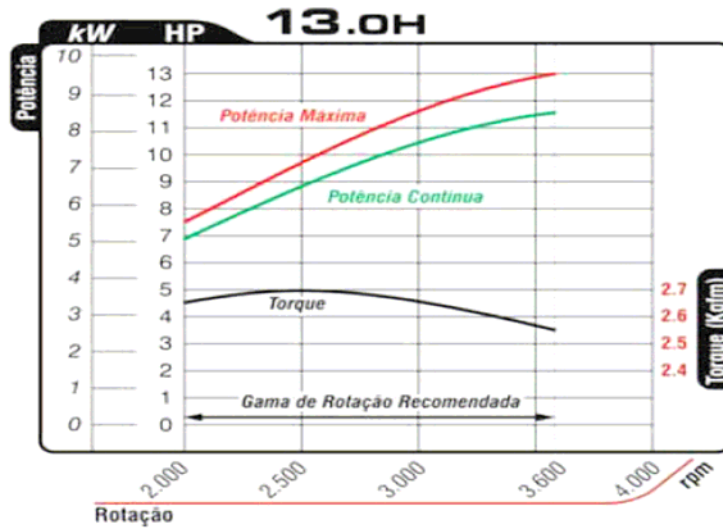


Figura 6: Curva de Desempenho do Motor brando 4T-13hp.

3.3. Estrutura e Plataforma Flutuante

A plataforma flutuante na Figura 7, será construída com garrafas PET e espuma de poliuretano expansível sobre a estrutura tubular. Para preencher a plataforma flutuante com um material menos denso que a água serão utilizadas 119 garrafas PET de 2 litros com tampa, para que estejam vedadas, e cheias de ar.

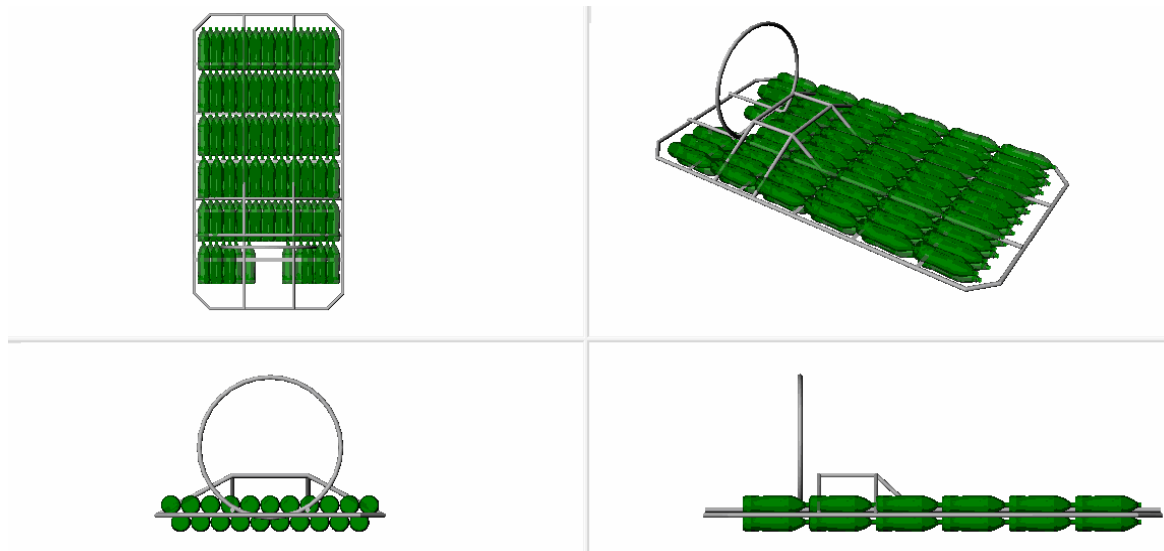


Figura 7: Plataforma Flutuante e Estrutura Tubular

A plataforma flutuante deve suportar um peso de 250 kg, ou seja, todo o peso do LH-1. Será construída com fibra de vidro, garrafas PET (com as 119 unidades Pet de 2 litros) onde somente o volume interno das garrafas PET's em fornecerá um empuxo suficiente para o peso estimado, cerca de 240 litros de ar. O peso equivalente em água seria de 238 kg, isso desconsiderando o volume real de uma garrafa pet de 2 litros que contem um volume interno real de 2,2 litros.

A fixação das garrafas será feita com a própria espuma de poliuretano expansível, que será despejada sobre o caixa de fibra e preencherá os vãos das garrafas. A densidade final pode variar, pois o poliuretano pode se expandir em até 25 vezes seu volume líquido, só dependendo da pressão exercida sobre ele durante a cura. Na plataforma pretende-se deixar a caixa aberta, em pressão ambiente até a cura final, evitando provocar alguma pressão interna que poderá diminuir a expansão da espuma. Após a cura da espuma, ela poderá ser cortada e modelada para remover os excessos e aplinar a superfície superior, que será selada com resina e fibra de vidro.

Com a utilização de um software de simulação computacional de elementos finitos COSMOS DesignSTAR 4.0 (Dassault Systemes, 2004), foram feitas duas análises sobre a estrutura externa lateral tubular da plataforma flutuante. A análise é feita via método dos Elementos finitos, onde os parâmetros de entrada são apresentados na Tabela 2.

O objetivo de tal estudo foi o de verificar se as emendas e a estrutura lateral (parte da estrutura responsável pela fixação da saia lateral) suportam a pressão que o colchão de ar irá exercer sobre todo o conjunto externo.

Tabela 2: Inputs da análise estrutural para aplicação de Elementos Finitos.

Informação da Malha	
Tipo de Malha:	Malha Sólida
<i>Mesh</i> Usado:	Padrão
Transição Automática:	Desligado
Controle de Malha:	Ligado
Superfície Lisa:	Ligado
Verificação Jacobiana:	4 Pontos
Tamanho dos Elementos:	0.01183 m
Tolerância:	0.00059152 m
Qualidade:	Média
Numero de Elementos:	42373
Numero de Nós:	13033

Estrutura-stress :: Static Nodal Stress
Units : N/m² Deformation Scale 1 : 9.33859

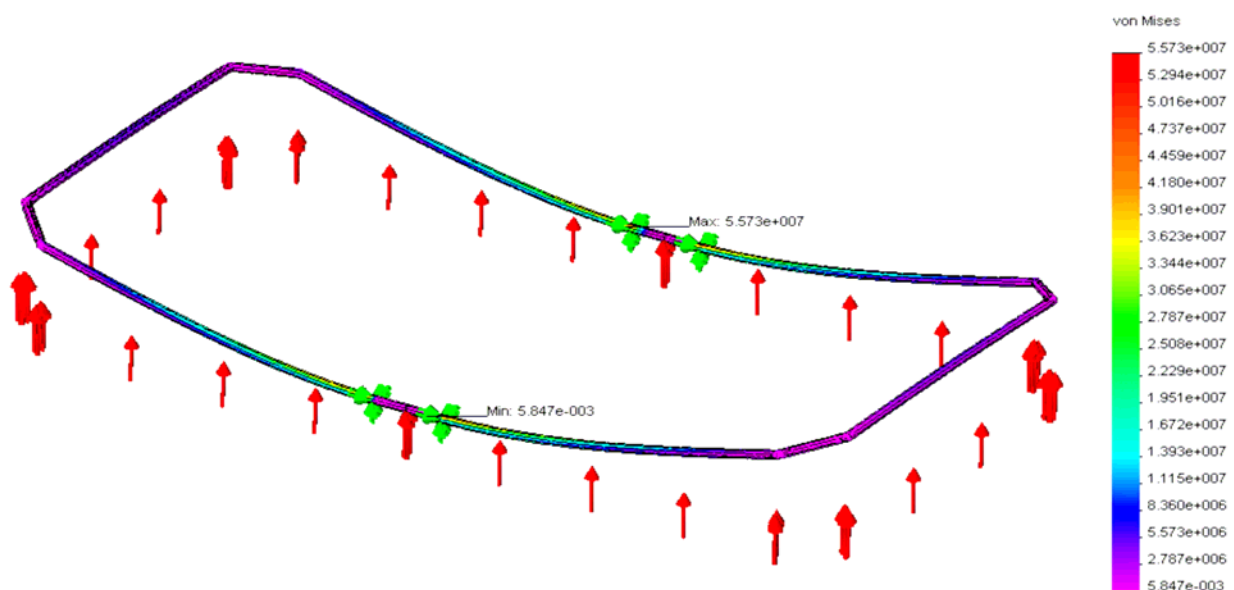


Figura 8: Análise sobre a estrutura lateral, onde o carregamento foi à pressão da câmara plena sobre a estrutura de fixação da saia lateral.

O resultado da análise é apresentado na Figura 8. A estrutura demonstrou ser resistente aos esforços a qual será submetida. Sem considerar as duas longarinas principais, e as barras transversais. Para a estrutura resistir ao stress da pressão máxima, ela está avaliada acima dos valores mínimos, o que resulta em um alto coeficiente de segurança.

Após todos os procedimentos tomados para o dimensionamento e a análise estrutural, foi concluído o desenho final do LH-1, apresentado na Figura 9. Por tratar-se de um hovercraft para fins experimentais, a análise de desempenho dependerá das variáveis pendentes, como o tipo de hélice, tipo de solo e do peso que estará levando. Porém, após a construção do LH-1, deverá ser levantado um gráfico de desempenho, e como trabalhos futuros estão previstos aperfeiçoamentos no projeto.

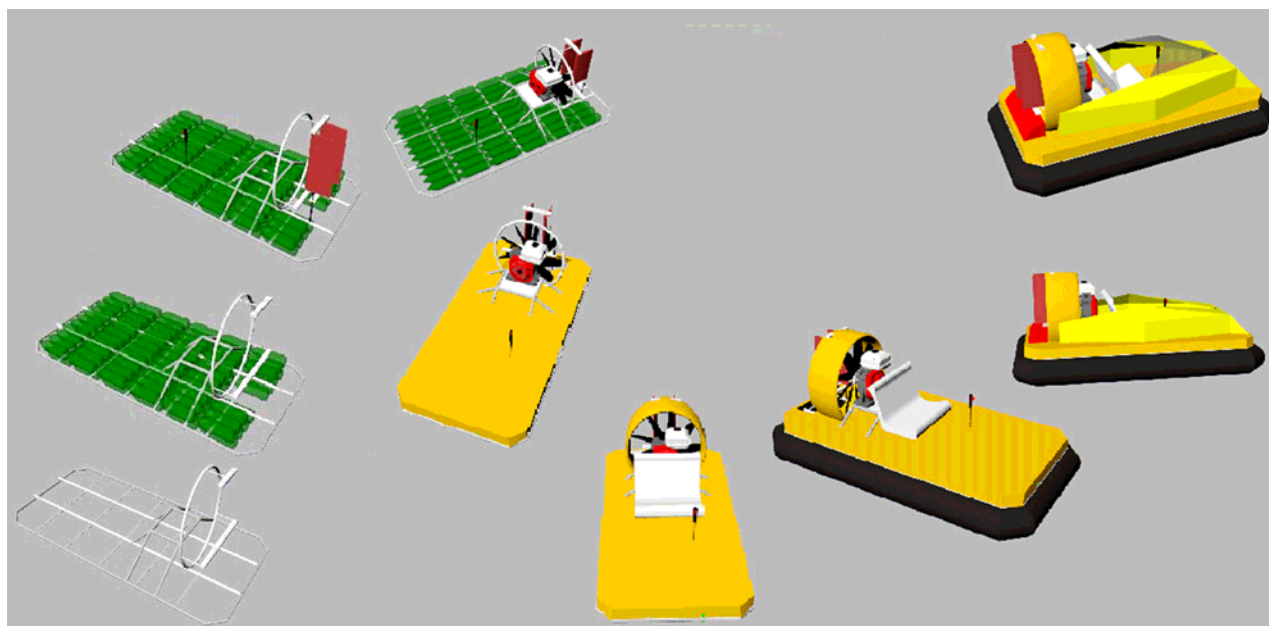


Figura 9: Layout final do projeto do LH-1.

3.3. Resultados e Custos

A estimativa de custo foi feita levando em consideração os valores atuais dos materiais necessários. Como o projeto é experimental, apenas os valores mais significativos foram imputados na avaliação final de custo. Foi feita uma tabela com os custos dos materiais mais caros (Tabela 3).

Tabela 3: Estimativa de Custos.

<i>Materiais</i>	<i>Características</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor R\$</i>	<i>Soma R\$</i>
Tubos de Alumínio	6063-T5	4	56	224
Barras de Alumínio	6351-T6	2	72	144
Hélice	AV-9	1	270	270
Motor	4T - 13.0 hp	1	1.352	1.352
Poliuretano Expansível	2 Litros	5	40	200
Placas de PVC	5 mm de Espessura	4	15	60
Total				2.250
Margem de Aumento	50%			3.375

Com os dados obtidos mediante os cálculos e as análises, foi possível a conclusão do projeto. Como resultado do trabalho, um hovercraft de pequeno porte foi projetado, denominado de LH-1 (Lavradox Hovercraft – protótipo 1).

Os resultados encontrados com a conclusão do projeto estiveram dentro dos parâmetros esperados, onde o LH-1 encaixou-se na categoria proposta de um hovercraft de baixo custo e de pequeno porte. Com a fase de projeto concluída, a próxima etapa será a construção e os testes de desempenho. Com o dimensionamento do modelo, do sistema de sustentação, motor e com a análise estrutural, já é possível determinar as características primárias do LH-1.

O sistema de propulsão não foi relatado, pois ainda falta dados para a sua conclusão, tendo sido determinada apenas a hélice disponível para o motor proposto. Com o dimensionamento feito para o motor escolhido, obteve-se a potência disponível para o sistema de sustentação, que ficou acima do esperado.

Após a construção do modelo poderão ser feitos novos estudos a fim de melhorar os resultados encontrados e aprimorar o desempenho final.

4. REFERÊNCIAS

- Cross, I., 1975, “Introduction to Hovercrafts and Hoverports”, Pitman, London.
Dassault Systemes S.A., 2004, “Cosmos User’s Guide”.
Elsley, G. H. e Devereux, A. J., 1969, “Hovercraft Design and Construction”, Newton Abbot, London.
Lavrado Filho, C., 2006, “Projeto de Um Hovercraft”, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, UNIVAP.
Lift Calculator, 2006, <http://www.hoverhawk.com/lcalc.html>.
Rhinoceros® NURBS Modeling for Windows, 2002, “Tutorial”, Rhinoceros®.
Universal Hovercraft of America, 2006, “UH-10F Entry Level”, <http://www.hovercraft.com>.

DESIGN OF A HOVERCRAFT

Carlos Lavrado Filho

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FEAU
Av. Shishima Hifume, 2911, Urbanova, 12244-000
São José dos Campos, SP
eng.lavrado@gmail.com

Humberto Araújo Machado

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial – CTA, Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, 12228-904
São José dos Campos, SP
humbertoam@iae.cta.br

Abstract: *In this work, a design of a hybrid hovercraft is presented. Such a vehicle is capable to move over ground and water, and to pass straight between both environments, through its air cushion, being called as an ACV (air cushion vehicle). After an historical introduction and a brief description of hovercrafts, its advantages and applications, a discussion about the development of a model of small transport, with system of sustentation for full chamber with lateral skirt is presented. The detailing, forecast of coast, conclusion and the building of a prototype in small scale are also included.*

Keywords: *Hovercraft, Wing-in-ground machine, Full chamber.*