



Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia Mecânica

PMC-581

PROJETO DE FORMATURA

HOVERCRAFT DE PEQUENO PORTE



Gustavo Ribeiro Testa
Projeto & Fabricação
Nº USP: 2834270

Agnaldo Calvi Benvenho
Energia & Fluidos
Nº USP: 2820782

Prof. Otávio de Mattos Silveira
Orientador

O. Silveira
Nota: 9.0 (nove)
O.



INDICE

INDICE	2
O ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE	5
HOVERCRAFT	7
HISTÓRIA.....	7
CARACTERÍSTICAS.....	8
CUSTO.....	9
PERMISSÕES DE USO.....	10
UTILIZAÇÕES DO HOVERCRAFT.....	10
<i>Uso recreativo</i>	10
<i>Uso comercial</i>	11
<i>Uso militar</i>	12
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	14
CONSTRUTIVAS.....	14
OPERACIONAIS.....	14
FUNCIONAIS.....	15
DESEMPENHO.....	15
FORMULAÇÃO DO PROJETO	16
ENTRADAS DESEJÁVEIS.....	16
SAÍDAS DESEJÁVEIS.....	16
ENTRADAS INDESEJÁVEIS.....	17
SAÍDAS INDESEJÁVEIS.....	17
ELEMENTOS	18
MOTOR.....	18
SAIA.....	19
<i>Saia de bolsa</i>	20
<i>Saia segmentada ou de dedo</i>	21
<i>Saia mista</i>	22
<i>Comparativo</i>	22
HÉLICES.....	23
<i>Axiais</i>	24
<i>Centrífugas</i>	24
“PUFF PORTS”.....	24
TRANSMISSÃO.....	25
REVERSOR DE FLUXO.....	25
ELEMENTOS DE FLUTUAÇÃO.....	25
DUTO DE PROPULSÃO.....	26
MATRIZ DE SOLUÇÃO	27
SÍNTESE DE SOLUÇÕES	28
SOLUÇÃO A.....	28
SOLUÇÃO B.....	29



SOLUÇÃO C.....	30
SOLUÇÃO D.....	31
SOLUÇÃO E.....	32
SOLUÇÃO F.....	33
EXEQUIBILIDADE FÍSICA.....	34
SOLUÇÃO A.....	34
SOLUÇÃO B.....	35
SOLUÇÃO C.....	36
SOLUÇÃO D.....	37
SOLUÇÃO E.....	38
SOLUÇÃO F.....	39
VALOR ECONÔMICO.....	41
CUSTOS GLOBAIS:.....	41
CUSTOS ESPECÍFICOS:.....	42
<i>solução A.....</i>	42
<i>solução B.....</i>	42
<i>solução C.....</i>	42
<i>solução D *.....</i>	43
<i>solução E.....</i>	43
<i>solução F *.....</i>	43
VIABILIDADE FINANCEIRA.....	45
CONCLUSÃO.....	45
ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO.....	46
PROJETO.....	48
INTRODUÇÃO.....	48
CASCO.....	49
<i>Design.....</i>	49
<i>Peso.....</i>	50
<i>Construção.....</i>	51
DUTO.....	51
<i>Vazão de sustentação.....</i>	52
<i>Rotor.....</i>	53
<i>Velocidade periférica.....</i>	53
<i>Lei dos ventiladores.....</i>	54
<i>Nível de ruído.....</i>	56
<i>Configuração do Rotor.....</i>	56
<i>Fluxo de ar.....</i>	59
BOLSA.....	60
<i>Material.....</i>	60
<i>Forma construtiva.....</i>	61
<i>Recorte da saia.....</i>	64
MOTOR.....	64
<i>Motor Volkswagen "Fusca" 1600cc.....</i>	65
<i>Motor de Kart Parilla.....</i>	65



<i>Motor de Kart Riomar V4</i>	66
<i>Motor ROTAX 503</i>	66
<i>Motor HONDA CB450dx</i>	67
<i>Seleção do motor</i>	67
<i>Partida do motor</i>	69
<i>Fixação do motor</i>	69
TRANSMISSÃO	73
<i>Polias e correia</i>	73
<i>Pinhão, coroa e corrente</i>	74
ELEMENTOS DE FLUTUAÇÃO	78
CONTROLE	78
PROJETO EXECUTIVO	79
CUSTOS	79
FOTOS	81
BIBLIOGRAFIA	90



O ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

Existe a necessidade de construção de um veículo capaz de se movimentar bem em qualquer terreno, não tendo as limitações de um “off-road” tradicional, ou mesmo de um automóvel de uso urbano. Também deseja-se que este veículo possa se movimentar em água, mas, novamente, sem os inconvenientes de um barco comum. Um veículo que representa uma alternativa viável e já consagrado mundialmente é o hovercraft, tendo a peculiaridade de não ter contato com o solo durante o movimento. Isto o torna adequado para qualquer tipo de terreno. Esta particularidade é possível graças a existência de um “colchão de ar”, mantido por um motor de combustão interna. A necessidade está presente principalmente nos setores de transporte, militar, turismo e lazer. O setor de transporte necessita de veículos de grande porte, com capacidade para mais de 50 pessoas, sendo um setor que pode ser explorado futuramente em um novo projeto, para um hovercraft de grande porte. O setor militar necessita de veículos de médio porte, para transporte de grupos de soldados, veículos e armamentos, sendo outro cliente em potencial para uma expansão deste projeto. Os setores de turismo e lazer são os principais consumidores dos veículos de pequeno porte, e representam a necessidade sócio econômica para a execução deste projeto.

O setor de lazer necessita de veículos capazes de transportar uma ou duas pessoas, com características esportivas. Neste setor, o “hovercraft” adquirido pelo consumidor não visa o lucro, mas sim a diversão. O setor de turismo necessita de veículos capazes de transportar duas ou mais pessoas, visando prioritariamente o lucro. Aqui a necessidade estabelece construção de um veículo econômico, de fácil manutenção, em detrimento das características esportivas exigidas no setor de lazer.

No Brasil, a necessidade ainda não existe de forma aparente, mas está presente de forma latente principalmente no setor de lazer e turismo. Basta lembrar um outro veículo, o “jetski”, que já existia a muitos anos no exterior, mas apenas recentemente a necessidade latente do setor de lazer se concretizou, através da



abertura do mercado as importações. O mercado para veículos capazes de se movimentar tanto sobre o solo como sobre a água, o “hovercraft”, existe e deve ser explorado.

O setor de patrulhamento também é outro setor que pode vir a se utilizar de veículos capazes de percorrer regiões de difícil acesso, tais como regiões fronteiriças delimitadas por rios, regiões pantaneiras, rios açoriados, etc. O hovercraft é uma alternativa que se encaixa perfeitamente neste tipo de atividade, sendo ágil, leve e de baixo custo quando comparado a barcos de tamanho e potências similares.

Com base nos mercados acima referidos, será iniciado aqui o projeto de um hovercraft de pequeno porte, com capacidade para até duas pessoas, com características esportivas. Estes veículos, em suas versão mais simples, poderão ser comercializados a um preço superior a R\$ 4.500,00 reais. Modelos mais esportivos, de alta performance, dificilmente podem ser encontrados por menos do que US\$ 15.000,00 no exterior.



HOVERCRAFT

História

O primeiro hovercraft que se tem notícia data de 1716. Foi concebido por Emmanuel Swedenborg, e era uma plataforma sob a qual se produzia um colchão de ar, através de força humana. Não era exatamente um hovercraft, mas o princípio era o mesmo.

No século XIX, pouco progresso aconteceu no campo dos hovercrafts, embora vários modelos fossem construídos, nenhum deles era suficientemente operacional para ser utilizado.

O grande desenvolvimento ocorreu somente em 1955, quando Christopher Cockerel concebeu um design mais eficiente para o hovercraft. A partir daí um progresso considerável se decorreu. Várias mudanças e ajustes foram feitos até se chegar ao que hoje nós conhecemos como hovercraft.

A mais significativa das invenções foi a saia inflável para manter o colchão de ar, criada por Charles J. Fletcher, que é considerado o inventor do hovercraft moderno.

Atualmente, há vários tipos de projetos de hovercrafts, e progressos ocorrem constantemente nesta área.



Características

Um hovercraft é um veículo especial, que pode ser utilizado tanto em solo quanto em água, pois em seu movimento, ele apresenta a particularidade de não tocar a superfície durante o movimento (o principal diferencial de um hovercraft), apresentando em relação a esta uma pequena elevação (“hover”). Esta elevação é mantida graças a presença de um colchão de ar, gerado por uma hélice. A força motriz para a movimentação da hélice provém de um motor preso ao hovercraft.

A existência do colchão de ar só se torna possível graças a presença de um tipo de luva flexível denominada saia, que é fixada ao redor do corpo do hovercraft. Ela, quando inflada, direciona o fluxo de ar para parte inferior do veículo, ficando condicionado em uma espécie de câmara. A pressão aí formada eleva o hovercraft a uma determinada altura da superfície (geralmente em torno de 1cm a 4 cm). É por aí que o ar escapa para o exterior do veículo. Esta altura é muito importante pois é ela quem realmente separa a superfície do veículo.

A movimentação do hovercraft é feito por um conjunto de hélices (o mesmo do sistema de sustentação ou outro qualquer, dependendo do tipo construtivo) ligado a um motor de combustão interna, dispostas na parte traseira. Esse conjunto de hélices vai gerar um fluxo de ar, que irá impulsionar o hovercraft, provocando seu movimento de translação. Esse movimento é bastante facilitado pelo fato de se movimentar sobre um colchão de ar, que apresenta um baixo índice de atrito.

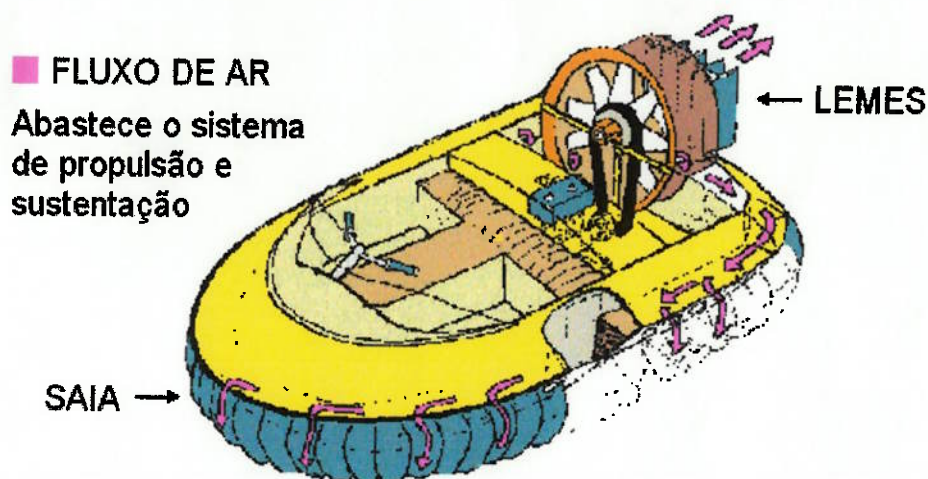


O controle do hovercraft é feito por lemes, de uma forma bastante semelhante ao de aviões, sendo que a diferença está no fato de que o hovercraft utiliza vários lemes



ao invés de apenas um. A direção é então determinada pelo redirecionamento do fluxo de ar, feito através da movimentação do conjunto de lemes do veículo.

A frenagem de um hovercraft é geralmente realizada através do corte do fluxo de ar que o sustenta. Assim, utilizando-se de seu próprio peso para gerar atrito com a superfície, o veículo consegue parar seu movimento. Em alguns hovercrafts mais esportivos, dispositivos similares ao reversores de turbinas são utilizados para uma frenagem mais rápida e eficiente. Este dispositivo, posicionado próximo as hélices de propulsão, se fecha diminuindo o fluxo, até que ele seja revertido completamente, fazendo com que o hovercraft freie. Para andar em marcha-ré, seria necessário uma reversão no sentido de rotação das hélices, sendo preciso fazer uso de uma transmissão.



Custo

O preço de um hovercraft deste porte varia sob diversos fatores. Por U\$400, pode se comprar um hovercraft que suporta 50Kg e chega a velocidades de 40Km/h. Geralmente, para um hovercraft de lazer com capacidade para duas pessoas, os preços variam entre U\$4.500,00 a U\$6.500,00 no mercado internacional para os modelos mais simples. Modelos mais esportivos, de alta performance, não raramente podem ser adquiridos por menos do que U\$ 15.000,00, como já citado anteriormente.



Permissões de uso

Os hovercrafts não podem ser usados em vias públicas, devido ao fato de sua dirigibilidade não ser a ideal para esse tipo de lugar. Para utilização em locais permitidos, não é necessário licença especial.

Utilizações do hovercraft

Os hovercrafts são veículos de múltiplos usos, dentre os quais se destacam o uso recreativo, militar e comercial.

Uso recreativo

Os hovercrafts de uso recreativo, geralmente de pequeno porte, são aqueles usados como o próprio nome diz para fins de recreação e lazer. Suas características básicas, como são o pequeno porte, como já citado, motores de baixa potência, geralmente de dois tempos. Esta é uma das grandes desvantagens desse tipo de hovercraft, pois apesar de um motor de dois tempos ser mais leve que um similar de quatro tempos, ele é excessivamente barulhento, o que pode tornar o hovercraft desagradável e incomodo. Nos Estados Unidos, esse meio de transporte recreativo

é um dos que mais tem crescido nos últimos anos, gerando uma indústria bastante lucrativa e bastante progressiva. Na foto ao lado pode-se observar alguns Hovercrafts estacionados em



uma praia. No Brasil, esse uso do hovercraft ainda não é explorado.



Outro modelo utilizado na área de lazer.

Uso comercial

Os principais usos comerciais do hovercraft são o de quebra gelo, de balsa de transporte, rebocadores e de veículo de salvamento.

Como quebra gelo, o hovercraft apresenta um tamanho menor, gasta menos combustível e leva a metade do tempo que um navio quebra gelo convencional levaria para quebrar a mesma quantidade de gelo. Quando em movimento a uma certa velocidade, o veículo provoca uma onda na água, que se propaga quebrando o gelo (que devido a sua própria natureza é frágil, e não se “dobra” com a passagem das ondas). No Canadá, Hovercrafts construídos pela Bell Aerosystems são usados entre Montreal e Beauharnois para quebrar camadas de gelo com mais de 10 cm de espessura.



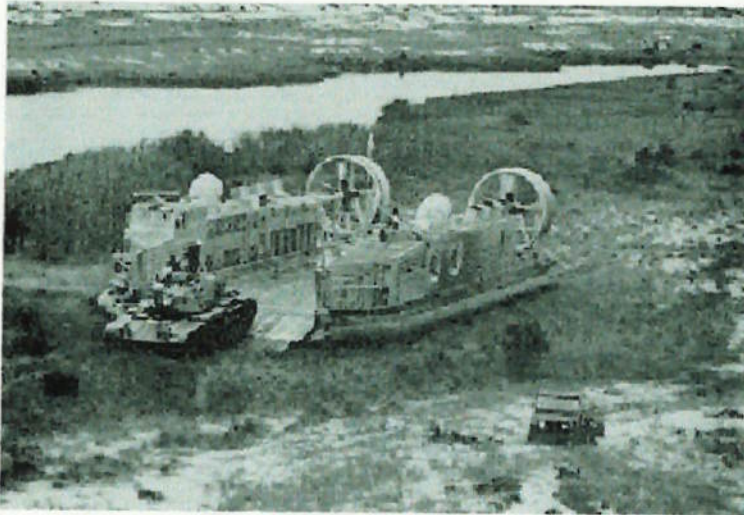
Hovercraft canadense quebrador de gelo

Grandes hovercrafts também estão sendo utilizados como balsas de transporte, devido a possibilidade de andar tanto em terra quanto em água, além ao seu baixo preço quando comparado a navios com a mesma capacidade de transporte. Na Inglaterra, hovercrafts vem sendo usados como balsa para cruzar o canal da mancha e o Oresund Sound. O modelo AP-188 (utiliza quatro motores diesel de 400 cavalos cada para propulsão e sustentação em um sistema não integrado), utilizado para cruzar o Oresund Sound, é construído pela British Hovercraft com capacidade para carregar 100 pessoas.

Pequenos hovercrafts podem ser usados para operações de resgate e salvamento, devido a sua velocidade, manobrabilidade e a sua capacidade de andar em água, terra e gelo.

Uso militar

Pelas suas características de andar em múltiplos terrenos, o hovercraft é um veículo bastante conveniente para ser utilizado como veículo de assalto, especialmente em operações em terrenos pantanosos ou alagadiços. Pode ser usado também em operações de desembarque de tropa ou de material a partir de um ponto em água, para atingir um ponto terrestre.



Bell Aerospace Textron AALC Jeff(B) hovercraft descarregando um tanque de guerra. (Motor de Propulsão: turbina de 5.600 HP, Motor de sustentação: turbina de 11.200HP, carga máxima total: 250 ton)

No Vietnã foram usados hovercrafts, devido as condições de relevo.

No Brasil, tem-se um não exatamente militar, pois o uso é por parte do CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) de São Paulo, com fins de patrulhamento.



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Construtivas

Capacidade	Duas pessoas
Peso do veículo vazio	250Kg
Peso do veículo carregado	450Kg
Peso máximo de Flutuação	800Kg
Comprimento	3 m
Largura	1,7 m
Transporte de carga	Possibilidade da remoção do banco do passageiro para transporte de carga

Operacionais

Durabilidade	6 anos (20h/semana)
Confiabilidade	nenhuma falha nos dois primeiros anos
Manutenção	simples



Funcionais

Segurança

Estabilidade

-Manter estabilidade na falta do motor de sustentação

-Manter fluviabilidade na falta do motor de sustentação, com carga máxima de flutuação(1 ton)

-Manter estabilidade durante a movimentação de pessoas dentro do veículo, com ou sem motor de sustentação

-Manter estabilidade nas curvas, frenagens e acelerações

Acidentes

Não devem ocorrer quaisquer tipo de acidentes envolvendo o motor (ex: queimaduras), transmissão ou hélices.

Conforto

Bom para o piloto

Razoável para o passageiro

Desempenho

Velocidade final

60 Km/h.

Espessura do colchão de ar

entre 20 e 40 mm.



FORMULAÇÃO DO PROJETO

Entradas desejáveis

- Peso máximo de carregamento de 200Kg (2 pessoas)
- Combustível adequado
- Superfície regular (água, areia, cascalho, asfalto, grama, terra)
- Vento regular (até 20Km/h)
- Manutenção adequada (Troca de óleo do motor, reposição de peças, limpeza)
- Operação adequada do veículo

Saídas desejáveis

- Velocidade final maior ou igual a 60 Km/h
- Estabilidade em curvas, frenagens e acelerações
- Durabilidade
- Manobrabilidade
- Flutuabilidade
- Ausência de acidentes



Entradas indesejáveis

- Peso máximo de carregamento maior que 200Kg
- Combustível inadequado
- Superfície irregular
- Vento fortes (maiores que 20Km/h)
- Manutenção inadequada (não observação do manual do proprietário)
- Operação inadequada do veículo

Saídas indesejáveis

- Velocidade final menor que 60 Km/h
- Falta de estabilidade em curvas, frenagens ou acelerações
- Quebras
- Dificuldade de controle na movimentação do veículo
- Falta de Flutuabilidade
- Ocorrência de acidentes



ELEMENTOS

Motor

Um hovercraft necessita de pelo menos um motor. Considerando-se um hovercraft convencional, existe a necessidade de suprimento de ar para a sustentação (colchão de ar) e para a propulsão. Esta necessidade pode ser satisfeita com um ou dois motores. Na concepção que adota a utilização de um único motor, este pode acionar uma ou mais hélices, dividindo-se os fluxos de tal maneira a garantir a sustentação (33% do fluxo) e propulsão (67% do fluxo) adequados. A outra concepção possível utiliza dois motores, um para cada função. Um dos motores aciona a hélice de sustentação, enquanto que o outro, geralmente bem mais potente, aciona a hélice de propulsão. Através de um sistema de reversão do fluxo de ar, este motor pode também ser utilizado para o sistema de frenagem do veículo. A utilização de dois motores é, via de regra, a mais utilizada em hovercrafts de pequeno porte.

Um hovercraft pode usar praticamente qualquer tipo motor de combustão interna existente, desde que se observe regras básicas de projeto, tais como relações peso-potência, dimensões, custos de manutenção e aquisição, barulho, etc.

Em geral, utilizam-se motores de quatro tempos. São menos barulhentos, não precisam de lubrificação especial, geralmente não precisam de transmissão e oferecem uma manutenção simples e barata. Apresentam, porém, um inconveniente: são mais pesados do que os motores de dois tempos de potências similares.



Motor de propulsão (20HP) montado em um hovercraft



Motor de sustentação montado diretamente sobre a hélice.

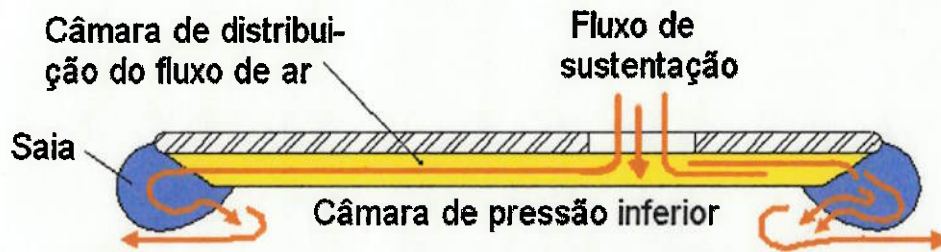
Em algumas aplicações particulares, podem ser usados turbo jatos, que podem apresentar potências altíssimas. Podem ser utilizados também motores diesel, no caso de veículos de maior porte, onde o consumo e economia são fatores importantes a serem considerados.

Saia

A saia é um dos mais importantes componentes de um hovercraft, e é o ponto de partida do início de qualquer projeto de hovercrafts de pequeno porte. É ela a responsável por manter o ar confinado embaixo do veículo. O fluxo constante de ar,



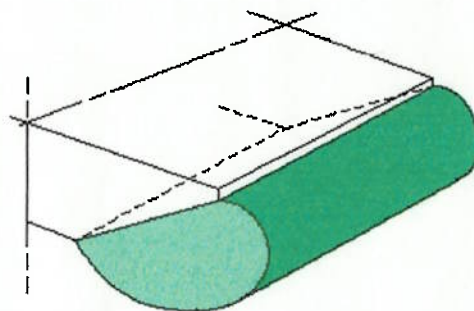
gerado pela hélice de sustentação, infla a saia, formando um “colchão de ar” em todo o perímetro inferior do hovercraft. Isto provoca o efeito “hover”, e permite que o veículo deslize sobre qualquer superfície razoavelmente regular.



A sustentação é feita através de um grande colchão de ar. Como o ar é extremamente compressível, qualquer alteração na distribuição de cargas do veículo, de origem estática ou dinâmica, irá provocar uma mudança em seu quadro de estabilidade, até que se encontre uma nova posição de equilíbrio. Assim, saia além de auxiliar a sustentação, é também responsável pela estabilidade do veículo. Quanto mais alta a saia, maiores os obstáculos transponíveis pelo hovercraft. As saias podem ser de dois tipos:

Saia de bolsa

É uma espécie de tubo circular fechado nas extremidades, que envolve todo o perímetro do hovercraft (em verde no esquema ao lado). Diz-se de bolsa pois ela funciona como uma espécie de bolsa de ar ao redor do hovercraft.



Para se inflar a saia existem dois tipos de alimentação: em série ou em paralelo. Em série, o ar proveniente do conjunto de hélices responsável pela sustentação passa inicialmente pela saia para depois integrar o colchão. Em paralelo, uma parte do ar de sustentação vai para a saia (em



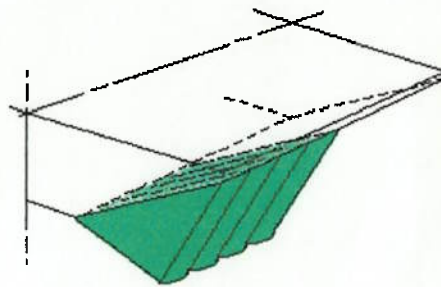
geral 10%), e o restante vai para o colchão, região onde se concentra todo o fluxo de ar, imediatamente após este deixar a saia.



Hovercraft de saia de bolsa com somente um motor..

Saia segmentada ou de dedo

Consiste de pequenos segmentos de nylon, com a forma de dedos (em verde no esquema ao lado), daí o nome, ao redor do perímetro do hovercraft, sendo responsáveis em armazenar ar e em manter o colchão de ar.

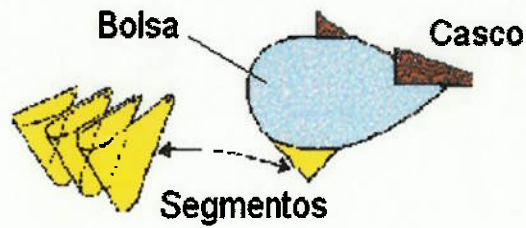


Hovercraft de saia segmentada participando de uma competição.



Saia mista

É um misto dos dois tipos acima citados. Formada por composição feita de uma saia de bolsa e saia segmentada. (os segmentos são presos na região inferior da bolsa), esta forma construtiva “mixa” as características de cada um dos tipos de saia constituinte.



Saia mista utilizada um hovercraft da Guarda Costeira Canadense.

Comparativo

A seguir tem-se uma tabela que mostra as características de cada um dos tipos de saias, através de um comparativo entre as mesmas:

	Bolsa	Segmentada	Mista
Custo	baixo	alto	baixo
Funcionalidade	baixo	alto	médio
Reparabilidade	difícil	fácil	difícil
Atrito com a água	alto	baixo	muito alto
Arrasto sobre lama	alto	baixo	baixo
Arrasto sobre grama	alto	baixo	médio-alto
Arrasto sobre gelo	igual	igual	igual
Arrasto sobre neve	alto	baixo	médio
Vida	boa	moderada	boa
Durabilidade	boa	ruim	moderada
Estabilidade	bom	ruim	excelente



Manobrabilidade	razoável	excelente	nenhum
Spray	ruim	bom	ruim
Facilidade de montagem	moderado	fácil	difícil
Peso da saia	baixo	moderado	baixo
Alta velocidade	bom	moderado	moderado
Aparência	moderado	bom	moderado
Performance quando danificado	moderado	bom	ruim
Potencial para desenvolvimento	bom	bom	bom
Capacidade de levantamento após longo tempo de repouso	ruim	bom	excelente
Capacidade de suplantar obstáculos	ruim	bom	ruim
Complexidade	baixo	alto	moderado

Hélices

Um hovercraft pode usar tantas hélices quantas o projetista desejar. Em hovercrafts de lazer, geralmente se usam dois tipos básicos de configuração:

hélice simples: Neste modelo, um motor aciona uma hélice. A maior parte do ar é dirigida para realizar o deslocamento (em torno de 67%), enquanto que a fração restante é designada para a sustentação. Neste forma construtiva, existe maior disponibilidade interna de espaço útil para o usuário.



Hovercraft da saia segmentado com somente uma hélice.



dupla hélice: No sistema duplo um ou dois motores são usados para acionar duas hélices separadas, sendo uma responsável pela sustentação e outra pelo deslocamento. Geralmente, neste tipo de configuração, utilizam-se dois motores separados, pela possibilidade de haver sustentação sem movimento, como mostra a foto ao lado.



As hélices usadas em um hovercraft podem ser de dois tipos construtivos:

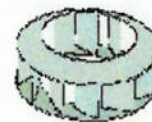
Axiais

Forma construtiva na qual o ar é propelido na direção do eixo de rotação, como em um ventilador caseiro.



Centrífugas

Forma construtiva que propõe o ar em uma direção perpendicular ao eixo de rotação, como em secadores de cabelo domésticos.



"Puff ports"

Puff ports são dutos de pequenas dimensões, que quando abertos, permitem a passagem de um fluxo de ar, vindo do fluxo de sustentação ou do de deslocamento. Esses dutos podem ser usados para direcionar o deslocamento ou frear o hovercraft, e podem ser vistos na figura ao lado. São utilizados basicamente para hovercrafts de pequeno porte.





Transmissão

Como o próprio nome diz, a transmissão tem a função de transmitir o torque do motor para os sistemas que dele se utilizam. A transmissão pode ser feita por um conjunto de polias ou engrenagens. O primeiro é interessante no que diz respeito ao peso, aliviando o conjunto. O segundo reduz o tamanho do sistema de transmissão a ser instalado, apesar de sobrecarregar o sistema com o peso de suas engrenagens. Oferece ao usuário uma maior segurança, uma vez que toda as engrenagens estão confinadas dentro de uma caixa, enquanto que o sistema de polias é em especial perigoso quando não carenado. Com uma caixa de redução pode-se fazer com que o hovercraft se movimente em marcha-ré, através da reversão do sentido de rotação da hélice de propulsão.

Reversor de fluxo

Os reversores são dispositivos tradicionalmente usados na indústria aeronáutica, que se constituem de placas com angulação móvel. Conforme o ângulo que elas formam, o fluxo de ar pode ser revertido, ou seja, a sua direção pode ser invertida. Em um hovercraft, este dispositivo pode ser utilizado para a frenagem do veículo.

Elementos de flutuação

A flutuabilidade do veículo deve ser garantida mesmo durante a falta do motor de flutuação. Isto é conseguido graças a instalação de elementos de flutuação na carenagem do hovercraft . Estes elementos podem ser de isopor (a



ser colocado na cavidade retangular da foto ao lado) ou bolsas de ar fabricadas de



recipientes de plástico, e irão sustentar a carga de flutuação máxima especificada em projeto, na ausência do motor. Devem ser distribuídos de tal maneira a garantir a máxima estabilidade ao veículo.

Duto de propulsão

A hélice de propulsão tem seu diâmetro entre 0.5 e 1.5 m, e gira a altas velocidades. Assim, é importante que se isole esta região, de modo a se evitar acidentes. O duto, que nada mais é do que uma carenagem cilíndrica, que tem como uma de suas



funções principais a de proteger o usuário contra eventuais acidentes. Dependendo da solução adotada, o duto pode também acumular a função de divisor do fluxo de ar, como mostra a foto acima. Esta divisão é feita através de um anteparo montado em seu interior, que leva parte do fluxo gerado pela hélice até uma câmara inferior, montada sob o casco do veículo. O duto também melhora o escoamento do ar, aumentando o rendimento do fluxo de propulsão do veículo.



Hélice de propulsão carenada por um duto cilíndrico



MATRIZ DE SOLUÇÃO

	A	B	C	D
1) Número de motores	1	2		
2) Numero de Hélices	1	2		
3) Motor de Propulsão	2T	4T	4T- Diesel	Turbo jato
4) Motor de Sustentação	2T	4T	4T- Diesel	
5) Redução	Sim	Não		
6) Hélice de Propulsão	Axial	Centrífuga		
7) Hélice de Sustentação	Axial	Centrífuga	
8) Número de Pás da Hélice de propulsão	2	3	4	6
9) Saia	Bolsa	Segmentada	Mista	
10) Elemento de Flutuação	Isopor	Recipientes plásticos		
11) Duto de Propulsão	Carenado	Não carenado	Semi carenado	
12) Sistema de direção	Leme	"Puff Ports"		
13) Sistema de freio	Reversor de fluxo de propulsão	Atrito da carenagem com a superfície	"Puff Ports"	

Estudo das soluções

Depois de analisadas cuidadosamente, as melhores soluções encontradas foram:

SOLUÇÃO A: 1A-2A-3A-5A-6A-8C-9A-10A-11C-12C-13C

SOLUÇÃO B: 1A-2B-3A-5A-6A-7B-8A-9B-10B-11C-12A-13C

SOLUÇÃO C: 1B-2B-3B-4B-5B-6A-7B-8A-9A-10A-11A-12A-13A

SOLUÇÃO D: 1B-2B-3B-4B-5B-6A-7A-8A-9B-10A-11A-12B-13C

SOLUÇÃO E: 1B-2B-3B-4A-5B-6A-7A-8C-9A-10B-11A-12A-13B

SOLUÇÃO F: 1A-2A-3B-4B-5B-6A-7B-8X-9A-10A-11A-12A-13A

As quais serão estudadas mais detalhadamente na síntese de soluções.



SÍNTESE DE SOLUÇÕES

Solução A

Funções	Especificação
Número de motores	1
Numero de Hélices	1
Motor de Propulsão	2T
Motor de Sustentação	-
Redução	Sim
Hélice de Propulsão	Axial
Hélice de Sustentação	-
Número de Pás da Hélice de prop.	4
Saia	Bolsa
Elemento de Flutuação	Isopor
Duto de Propulsão	Semi-Carenado
Sistema de direção	"Puff Ports"
Sistema de freio	"Puff Ports"

Utiliza-se um motor dois tempos, acoplado a um sistema de redução, que transmite o torque a uma única hélice semi-carenada. O fluxo de ar proveniente é axial, dando propulsão ao veículo e inflando a bolsa de ar. O elemento de flutuação é o isopor, e o sistema de "Puff Ports" é responsável pela direção e frenagem do veículo.



Solução B

Funções	Especificação
Número de motores	1
Numero de Hélices	2
Motor de Propulsão	2T
Motor de Sustentação	-
Redução	Sim
Hélice de Propulsão	axial
Hélice de Sustentação	Centrífuga
Número de Pás da Hélice de prop.	2
Saia	Segmentada
Elemento de Flutuação	Recipientes de Plástico
Duto de Propulsão	Semi-carenado
Sistema de direção	Leme
Sistema de freio	"Puff Ports"

De maneira semelhante a solução anterior, utiliza-se um motor dois tempos, que acoplado a um sistema de redução por polias. Aqui, porém, são utilizadas duas hélices. A primeira, centrífuga, recebe o torque diretamente do motor, e é responsável pela sustentação do veículo. A segunda, axial de duas pás, se beneficia do sistema de redução para movimentar suas hélices, gerando pressão necessária para propulsão. A bolsa de ar é segmentada, e o elemento de flutuação presente são vários recipientes de plásticos distribuídos ao longo do veículo. O sistema de frenagem é o de "Puff Ports". O duto de propulsão semi-carenado leva o fluxo de ar até o leme, responsável pelo direção do hovercraft.



Solução C

Funções	Especificação
Número de motores	2
Numero de Hélices	2
Motor de Propulsão	4T
Motor de Sustentação	4T
Redução	Não
Hélice de Propulsão	Axial
Hélice de Sustentação	Centrífuga
Número de Pás da Hélice de prop.	2
Saia	Bolsa
Elemento de Flutuação	Isopor
Duto de Propulsão	Carenado
Sistema de direção	Lemes
Sistema de freio	Reversor do fluxo de propulsão

Nesta solução são utilizados dois motores, ambos quatro tempos. Um dos motores está acoplado a uma hélice centrífuga, gerando o fluxo de ar necessário para a sustentação do veículo. O outro motor, mais potente que o primeiro, está acoplado a uma hélice, axial de duas pás, sendo responsável pela propulsão. O sistema de direção de vários lemes, localizados na saída do duto carenado, garantem a monobrabilidade do veículo. O sistema de frenagem atua na reversão do fluxo de propulsão através de um anteparo. O elemento de flutuação utilizado é o isopor, e a saia adotada é em forma de bolsa.



Solução D

Funções	Especificação
Número de motores	2
Numero de Hélices	2
Motor de Propulsão	4T
Motor de Sustentação	4T
Redução	Não
Hélice de Propulsão	Axial
Hélice de Sustentação	Axial
Número de Pás da Hélice de prop.	2
Saia	Segmentada
Elemento de Flutuação	Isopor
Duto de Propulsão	Carenado
Sistema de direção	"Puff Ports"
Sistema de freio	Reversor do fluxo de propulsão

Como na "solução C", aqui também são utilizados dois motores, ambos quatro tempos. Um dos motores está acoplado a uma hélice axial, gerando o fluxo de ar para a sustentação do veículo, inflando a saia segmentada. O outro motor está acoplado a uma hélice, axial de duas pás totalmente carenada, sendo responsável pela propulsão. O sistema de frenagem atua na reversão do fluxo de propulsão através de um anteparo. O elemento de flutuação utilizado é o isopor, e o sistema de direção é o de "Puff ports", retirando o fluxo diretamente do sistema de propulsão.



Solução E

Funções	Especificação
Número de motores	2
Numero de Hélices	2
Motor de Propulsão	4T
Motor de Sustentação	2T
Redução	Não
Hélice de Propulsão	Axial
Hélice de Sustentação	Axial
Número de Pás da Hélice de prop.	4
Saia	Bolsa
Elemento de Flutuação	Bolsas de plástico
Duto de Propulsão	Carenado
Sistema de direção	Leme
Sistema de freio	Corte do motor de sustentação

Utiliza-se um motor de dois tempos diretamente acoplado a uma hélice, de fluxo axial, responsável pela sustentação do veículo. Um outro motor de quatro tempos, movimenta uma hélice de quatro pás, de fluxo axial, e é responsável pela propulsão do veículo. O leme, sistema de direção adotado, está localizado na saída do duto carenado. A flutuabilidade é garantida pela presença de bolsas de plástico uniformemente distribuídas pelo veículo. O sistema de freio por atrito da carcaça com a superfície, atua no corte do motor de sustentação. A saia adotada tem forma de bolsa.



Solução F

Funções	Especificação
Número de motores	1
Numero de Hélices	1
Motor de Propulsão	4T
Motor de Sustentação	-
Redução	Não
Hélice de Propulsão	Axial
Hélice de Sustentação	-
Número de Pás da Hélice de prop.	Mais de 4*
Saia	Bolsa
Elemento de Flutuação	Isopor
Duto de Propulsão	Carenado
Sistema de direção	Lemes
Sistema de freio	Corte do motor de sustentação

Esta solução é uma simplificação da “solução C”, sendo que aqui eliminou-se o sistema de reversores para a frenagem do veículo, o motor de sustentação e a hélice acionada por este. Naturalmente, com apenas um motor para realizar duas funções (propulsão e sustentação), torna-se necessário a implementação de um divisor de fluxo. A hélice de propulsão também teve seu número de pás aumentado, sendo que o número exato deve ser projetado para garantir boa propulsão e sustentação. Todos os outros detalhes permanecem idênticos a “solução C”.



EXEQUIBILIDADE FÍSICA

Solução A

O uso de somente uma hélice é de difícil implementação, pois torna necessário a utilização de um dispositivo divisor de fluxo. Este dispositivo dificultaria o controle do veículo, pois seria necessário uma variação do fluxo de ar inversamente proporcional a velocidade do hovercraft.

O motor dois tempos atinge rotações altas. Isto torna necessário a implantação de um sistema de redução. Além disto, o motor dois tempos exige uma manutenção maior do que um similar quatro tempos.

A hélice de propulsão de 4 pás supre de maneira aceitável as necessidades de fluxo e pressão, necessárias para a sustentação e movimentação do veículo, respectivamente.

A saia de bolsa oferece uma boa estabilidade, e é de montagem simples. Porém, uma vez danificada, precisa ser completamente trocada.

A flutuação é garantida pela presença de isopor no corpo do veículo. Este material, de densidade extremamente baixa, é fácil de se encontrar, e eficiente para sua função.

O uso do duto semi-carenado é importante do ponto de vista da prevenção de acidentes com a hélice. A carenagem pode ser de alumínio, fibra, certos tipos de plástico, ou qualquer outro material que garanta a segurança do piloto ou passageiro.

O sistema de "Puff ports" não é uma boa alternativa em altas velocidades, tanto para o sistema de frenagem quanto para o sistema de direção. Isto porque o fluxo de ar destinado a cumprir estas funções é baixo, devido as pequenas dimensões dos "Puff port". Este sistema só é eficiente a baixas velocidades.



Solução B

O motor utilizado nesta solução é o responsável pela movimentação de ambas as hélices, o que requer a implantação de um dispositivo divisor de potência, constituído por polias. A primeira polia leva uma parcela do torque do motor para a hélice de sustentação, enquanto que a segunda transmite a outra parcela para a hélice de propulsão. Esta configuração necessita de elementos auxiliares (transmissão por polias, correias, etc.) a serem projetados. As polias, bem como suas correias, precisam estar carenadas, de modo a garantir a segurança do piloto e eventual passageiro. Em uma configuração em que a hélice de propulsão e a hélice de sustentação estejam instaladas em extremos oposto da carenagem, este tipo de solução torna-se inconveniente, dado o número de elementos e peças a serem projetados para garantir a exequibilidade desta solução. O eventual ganho de peso conseguido dispensando-se um dos motores é compensado pela implantação do sistema auxiliar de transmissão criado para a implementação desta solução.

O motor dois tempos, como visto na solução anterior, atinge rotações muito altas. Isto torna necessário a implantação de um sistema de redução, sendo mais um conjunto de peças a serem projetados (Através da transmissão por um único par de polias pode não se conseguir a redução necessária). O motor dois tempos também exige uma manutenção maior do que um similar quatro tempos.

A hélice de propulsão axial, com 2 pás, permite atender os requisitos de pressão necessários para o deslocamento do hovercraft. De fabricação simples, estas hélices podem ser fabricadas em madeira, alumínio ou mesmo certos tipos de plásticos. Podem também ser compradas na praça.

A hélice de sustentação deverá fornecer altos fluxos de ar. Aqui não é interessante que se obtenha pressão na saída, mas sim velocidade de reposição do ar perdido em



todo o perímetro inferior da saia. A forma construtiva que melhor atende a estes requisitos é a hélice centrífuga.

A saia segmentada apresenta maiores dificuldades de montagem e maior custo quando comparada com a de bolsa. No entanto, tem o grande conveniente de quando danificada, não necessita ser completamente reparada, podendo-se consertar apenas a parte atingida.

Os recipientes de plástico apresentam baixo custo e boa flutuação, contudo a montagem é trabalhosa, uma vez que vários deles tem de ser dispostos por todo o hovercraft.

As vantagens e desvantagens do duto semi-carenado foram descritas na solução anterior.

O sistema de direção por leme é bastante conveniente, uma vez que permite boa manobrabilidade tanto em baixas quanto em altas velocidades. Sua instalação não oferece maiores complicações. O acionamento deste mecanismo pode ser feito através de uma alavanca.

Os “Puff ports” como sistema de frenagem, apesar da facilidade de operação e instalação, não são adequados, pois são eficientes apenas em baixas velocidades.

Solução C

A configuração de dois motores e duas hélices é bastante conveniente, pois simplifica o sistema como um todo, eliminando uma série componentes e peças, antes necessários para o funcionamento do veículo (na falta de um motor ou hélice, vistos nas soluções A e B). Esta configuração é a que melhor atende as especificações do projeto, no que se refere ao desempenho. O sistema de propulsão é projetado separadamente do sistema de sustentação. Esta individualização das tarefas simplifica os componentes e sistemas auxiliares a serem projetados para o



controle dos sistemas de sustentação e propulsão. A adoção de duas hélices acarreta na não inclusão de dispositivos acessórios divisores de fluxo ou de potência, tornando a montagem bem mais simples. O menor número de peças utilizadas compensa o acréscimo de peso ocasionado pela presença de mais um motor e hélice. Apesar dos benefícios de toda a simplificação que esta solução traz, tem-se aqui o inconveniente de aumentar o custo final do produto.

O uso de motores de 4 tempos, apesar de resultar num maior peso final, diminuem barulho, reduzem custos e tempo de manutenção, dispensando, a não ser em casos especiais, a necessidade de redução.

As hélices utilizadas nessa solução apresentam as mesmas características da **solução B**.

A saia de bolsa apresenta as vantagens e desvantagens descritas na **solução A**, assim como os elementos de flutuação de isopor.

Uma outra novidade que aparece nessa solução é a utilização de um duto de propulsão totalmente carenado. Ele apresenta vantagens e desvantagens semelhantes ao semi-carenado, com a vantagem extra de direcionar melhor o fluxo de propulsão e de ser mais eficaz na prevenção de acidentes.

O direcionamento por leme foi visto na **solução B**.

O sistema de frenagem por reversão do fluxo de propulsão é difícil de ser implementado, mas é bastante eficiente em qualquer faixa de velocidade, sendo especialmente necessário em altas velocidades.

Solução D

A maior parte das opções adotadas aqui já foi discutida nas soluções anteriores. Será comentado aqui apenas o que ainda não foi discutido, sendo o que já foi



discutido será apenas comentado, uma vez que as soluções particulares não são todas interligadas.

Configuração de dois motores 4 tempos e duas hélices, sem redução: **solução C**.

Aqui, cabe apenas um comentário em relação a hélice de sustentação, que nesse caso é axial. Ela supre bem as necessidades de fluxo requeridas pelo colchão de ar, porém não apresenta o mesmo desempenho de uma hélice centrífuga, mais apropriada para esse caso. As hélices de fluxo axial para esta função tem geralmente mais de quatro pás.

Duas pás na hélice de propulsão: **solução B**.

Saia segmentada: **solução A**.

Isopor como elemento de flutuação: **solução A**.

Duto de propulsão carenado: **solução C**.

Sistema de direção por "Puff ports": **solução A**.

Sistema de frenagem através de reversor de fluxo: **solução C**.

Solução E

Aqui, novamente serão citadas apenas as opções que não foram comentadas, sendo que para as que já apareceram será indicada a solução em que ela se encontra comentada.

A configuração de dois motores, duas hélices sem redução foi comentada na **solução C**, cabendo-se um comentário a respeito do motor responsável pela sustentação, que no caso será de 2 tempos. Esse motor apresentara, além dos inconvenientes já citados, o problema da localização, pois como ele será localizado próximo a hélice, e sendo que aquele necessita de maiores cuidados com



lubrificação e manutenção, isso acabaria encarecendo o preço de manutenção do hovercraft.

Outra opção nova que aparece aqui é o sistema de frenagem via corte do motor de sustentação, fazendo com que o hovercraft freie por atrito com a superfície. Esse sistema é o mais barato de todos, mas apresenta vários inconvenientes.

Entre eles estão o baixo nível de controle da frenagem e o desgaste que isso acarretaria na saia, pois é ela quem sofreria a maior parcela de malefícios provocada pelo atrito de frenagem.

A seguir a indicação das outras opções:

Hélice de propulsão axial: **solução C.**

Hélice de sustentação axial: **solução D.**

4 pás na hélice de propulsão: **solução A.**

Saia de bolsa: **solução A.**

Recipientes plásticos como elementos de sustentação: **solução B.**

Duto de propulsão carenado: **solução C.**

Sistema de direção por leme: **solução B.**

Solução F

Esta solução simplifica a alternativa apresentada na “solução C”. Com a eliminação do motor e hélice de sustentação, concentra-se as funções de propulsão e sustentação no conjunto motor/ hélice de propulsão. Isto reduz o peso do conjunto, aumenta o espaço interno disponível, uma vez que livra a região frontal do motor e hélices eliminados. O custo final é outro fator beneficiado nesta solução, pelos detalhes já citados.



Uma alteração deve ser feita na única hélice do veículo, que terá seu número de pás aumentado em relação “a solução C”, de maneira a suprir os fluxos de sustentação e propulsão. Um novo elemento, o divisor de fluxo, será o responsável pelo particionamento do fluxo de ar. É de construção relativamente simples e não requer nenhum cuidado de manutenção, sendo uma peça solidária ao duto carenado.

A seguir a indicação das outras opções:

Sistema de frenagem através do corte do único motor: **solução E.**

Hélice de propulsão axial: **solução C.**

Hélice de sustentação: nenhuma.

Saia de bolsa: **solução C.**

Isopor como elemento de sustentação: **solução C.**

Duto de propulsão carenado: **solução C.**

Sistema de direção por leme: **solução C.**



VALOR ECONÔMICO

Analisando o problema do ponto de vista do valor econômico, todas as soluções aparentemente apresentam custos aceitáveis para o consumidores, e serão agora estimadas de uma maneira mais detalhada.

Como será feito uma análise detalhada do preço de cada material ou peça necessário para a construção do hovercraft, aproveitaremos o estudo econômico para especular o peso final do veículo. (o custo, na realidade, também não passa de uma especulação, e a análise a ser feita abaixo é um retrato da situação do mercado atual, que pode estar diferente quando o veículo vier a ser construído)

A matéria prima utilizada na construção do veículo é praticamente a mesma em todas as soluções apresentadas (a saia é sempre de feita do mesmo material, assim como a estrutura em alumínio, a carenagem de fibra, etc.). A diferença será dada pelas diferentes conjuntos de peças e produtos finais especificados em cada solução. Os custos referentes a matéria prima são aplicados a todas as soluções, e podem ser generalizados como custos globais, observados na relação abaixo:

Custos Globais:

Materia Prima:

preço/un. Un. Qtd. Preço Peso

Saia:

	<i>preço/un.</i>	<i>Un.</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Preço</i>	<i>Peso</i>	
Saia 1/16 com lona (1m largura)	R\$21,60	m	12	R\$259,20	32 Kg	
Saia 1/16 sem lona (1m largura)	R\$13,00	m	12	R\$156,00	29 Kg	
Saia 1/32 sem lona (1m largura)	R\$8,50	m	12	R\$102,00	17 Kg	x

Carenagem:

Manta de fibra	R\$8,40	Kg	10	R\$84,00	10 Kg	x
Resina para laminação	R\$25,00	5 Kg	2	R\$50,00	10 Kg	x
Gesso	R\$2,00	Kg	10	R\$20,00	10 Kg	x

Casco:

Chapa de alumínio 1,5mm	-	m ²	7		28 Kg	x
Chapa de alumínio 4mm	-	m ²	2		22 Kg	x



Leme:

Chapa de alumínio 1,5mm	-	m ²	1		4 Kg
-------------------------	---	----------------	---	--	------

Elementos de Flutuação:

Isopor	R\$7,50	0,5m ²	20	R\$150,00	-	x
Recipientes de plástico	R\$4,00	20 L	20	R\$150,00	-	

Elementos de Fixação:

Parafusos, porcas, arruelas, rebites, massa plástica.				R\$100,00	-	x
---	--	--	--	-----------	---	---

Total				R\$506,00	101 Kg	
--------------	--	--	--	------------------	---------------	--

Custos Específicos:

solução A

Peças

Motor 2T	"caro"	
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Polias e Correias	R\$80,00	5 Kg
"Puff-Ports"	R\$100,00	

Custo total: R\$ 786,00 + custo do motor 2T

solução B

Peças

Motor 2T	"caro"	
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Hélice sustentação	R\$100,00	5 Kg
"Puff-Ports" (freio)	R\$75,00	

Custo total: R\$ 781,00 + custo do motor 2T

solução C

Peças

Motor 1300 Fusca usado (prop.)	R\$350,00	80 Kg
Motor 12 HP usado (sustent.)	R\$150,00	25 Kg
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Hélice sustentação	R\$100,00	5 Kg
Polias e Correias	R\$80,00	5 Kg



Reversor	R\$50,00	
----------	----------	--

Custo total: R\$ 1.336,00

*solução D **

Peças

Motor 1300 Fusca usado (prop.)	R\$350,00	80 Kg
Motor 12 HP usado (sustent.)	R\$150,00	25 Kg
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Hélice sustentação	R\$100,00	5 Kg
Polias e Correias	R\$80,00	5 Kg
Reversor	R\$50,00	

* similar a solução C

Custo total: R\$ 1.336,00

solução E

Peças

Motor 1300 Fusca usado (prop.)	R\$350,00	80 Kg
Motor 2T sustentação	"caro"	
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Hélice sustentação	R\$100,00	5 Kg
Polias e Correias	R\$80,00	5 Kg

Custo total: R\$ 1.136,00 + custo do motor 2T

*solução F **

Peças

Motor 1300 Fusca usado (prop.)	R\$350,00	80 Kg
Hélice propulsão	R\$100,00	8 Kg
Polias e Correias	R\$80,00	5 Kg

* solução C simplificada

Custo total: R\$ 1.036,00

É importante lembrar que existe uma margem de erro que incide em alguns dos itens pesquisados, seja devido a variações de preço no mercado, seja devido a falta de um determinado material ou peça que não pode ter seu preço estimado.



Os custos de mão de obra são praticamente inexistentes, uma vez que a única mão de obra disponível neste projeto é a dos relatores deste estudo.

As soluções “A”, “B” e “E” empregam o uso de um motor dois tempos de potência elevada. Este motor não foi cotado, embora se saiba do custo de motores similares utilizados em competições de kart. Para se ter uma idéia, um motor da marca “Parilla”, com 33 cv, custa o equivalente a R\$ 1.950,00, além de fazer um barulho infernal, o que não seria muito bem apreciado por eventuais compradores do produto. No caso da utilização do motor dois tempos referido, o custo final do veículo fica encarecido em mais de 180 %. Como manutenção do preço final do veículo que utiliza este motor implica na redução do lucro, o que não é uma alternativa, este aumento de custo seria repassado ao preço final do produto, enfraquecendo sua competitividade no mercado.

Assim, do ponto de vista do valor econômico, abandonam-se as soluções “A”, “B” e “E”, devido ao custo excessivo para o consumidor.



VIABILIDADE FINANCEIRA

Os investimentos necessários são baixos, podendo ser excetuados por qualquer firma que queira comercializar este produto.

CONCLUSÃO

Deste estudo de viabilidade resultam as soluções “C”, “D” e “F” consideradas viáveis para o projeto. As demais soluções foram excluídas por fatores já explicados anteriormente:



ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

Será determinado aqui a melhor solução dentre as soluções viáveis, resultantes do estudo de viabilidade. A solução escolhida deverá ser a que apresenta a melhor possibilidade de sucesso.

Serão comparadas as soluções "C", "D" e "F", determinando-se as vantagens e desvantagens de cada uma, e escolhida a melhor. Para tal, precisamos quantificar grandezas físicas e abstratas, de modo que o julgamento e o bom senso tem importância fundamental.

Uma maneira de se selecionar a melhor solução é através da construção de uma matriz de avaliação. Esta matriz tem por entradas nas linhas as características a serem avaliadas (características funcionais, construtivas, operacionais, desempenho, etc.) e nas colunas as soluções "C", "D" e "F". Atribuindo-se pesos às características defini-se a sua importância relativa; e atribuindo-se graus a cada solução, faz-se a avaliação relativa entre elas. A soma destes graus multiplicados pelos seus pesos geram valores globais que permitem a classificação e seleção da melhor solução.

Características	Peso	Nota x Peso		
		Solução "C"	Solução "D"	Solução "F"
1) Durabilidade	7	6	8	5
2) Confiabilidade	9	8	8	9
3) Manutenção	7	6	8	5
4) Segurança	10	7	7	9
5) Conforto	6	6	6	8
6) Estabilidade	8	8	6	8
7) Desempenho	9	7	8	9
8) Aparência	10	7	7	9
9) Durabilidade	7	6	8	6
10) Custo de fabricação	9	6	5	8
11) Investimento Necessário	6	7	7	8

Características	Peso	Nota x Peso		
		Solução "C"	Solução "D"	Solução "F"



1) Durabilidade	7	42	56	35
2) Confiabilidade	9	72	72	81
3) Manutenção	7	42	56	35
4) Segurança	10	70	70	90
5) Conforto	6	36	36	48
6) Estabilidade	8	64	48	64
7) Desempenho	9	63	72	81
8) Aparência	10	70	70	90
9) Durabilidade	7	42	56	42
10) Custo de fabricação	9	54	45	72
11) Investimento Necessário	6	42	42	48

Total:	597	623	686
---------------	------------	------------	------------

Analisando-se as tabelas acima, pode-se observar que segurança e aparência são duas características que se destacam em relação as demais (peso 10). Estas características estão intimamente ligadas ao sucesso do produto. O mercado consumidor deste veículo é representado em sua maioria pelas classes média e alta. Uma aparência ruim pode fazer com que o produto não venda. Da mesma forma, se o consumidor não se sentir seguro dentro do veículo, ou se este vier a causar acidentes, isto poderia “queimar” a imagem do produto no mercado.

A solução “F” é que tem a maior pontuação de acordo com os critérios estipulados. Esta será a solução adotada, e será através desta que se dará o desenvolvimento do projeto.



PROJETO

Introdução

Nesta parte, será especificado o projeto básico do hovercraft de pequeno porte, onde serão demonstrados cálculos necessários e especificações de soluções necessárias.

O projeto de um veículo deste porte pode ser dividido em diversos sub-projetos, ou diversos sub-conjuntos. O critério de divisão do sistema é funcional. Assim, teremos um conjunto responsável pelo acionamento da hélice (o motor), outro pela transmissão do torque (transmissão), etc.

Sub-conjuntos Funcionais:

Sub-conjunto	Função
Casco	Com função estrutural, da sustentação a todos os componentes do veículo, bem como ao piloto e eventual carga.
Bolsa	Responsável pela estabilidade e distribuição do fluxo de ar para a câmara inferior (colchão de sustentação)
Duto	Abriga o hélice, que transmite o torque originado do motor para o ar, na forma de energia cinética. Tem ainda a função de dividir o fluxo de ar, parte destinada a sustentação, e o restante a propulsão.
Motor	Transforma energia para sustentação e propulsão do veículo
Transmissão	Sistema responsável pela transmissão do torque e redução da rotação.
Elementos de flutuação	Como o próprio nome diz, são responsáveis pela flutuação do veículo, em caso de rompimento do casco.
Controle	Composto por leme, volante, acelerador e botão de ignição

Cada sub-conjunto será projetado individualmente, para posterior reunião em um único conjunto: O Hovercraft.



Casco

Design

Para a definição das dimensões do casco, tínhamos que primeiramente ter definido sua geometria externa, de modo que toda a estrutura interna se adaptasse a “casca externa”. Suas dimensões não poderiam exceder os 3.1m x 1.9m, limitações impostas nas especificações técnicas do estudo de viabilidade. Assim, todo o resto da estrutura dependia da definição de um design.

A criação de uma forma tridimensional é uma tarefa difícil de ser realizada quando estamos limitados a duas dimensões. Através de desenhos começamos a definir uma forma para o hovercraft, as ela realmente tomou vida quando utilizamos como ferramenta a argila, que pode ser modelada facilmente.

Definida sua geometria externa, tínhamos que pensar também em como esta “casca” se encaixaria no restante da estrutura. Para facilitar a visualização e evitar possíveis erros de projeto (tipo uma peça ocupar o espaço físico de outra!), construiu-se uma miniatura em isopor, escala 1:10.

Pode-se observar que existem duas versões para o “capô” do hovercraft, enquanto que somente uma para sua estrutura inferior. A primeira versão é mais simples de ser construída, embora um tanto mais conservadora em suas linhas. A segunda versão já possui um design mais agressivo e moderno, e mais difícil de ser construída. Como a aparência é uma função de suma importância para este veículo (definido anteriormente na matriz de avaliação), optou-se pelo design mais moderno como cobertura do casco do hovercraft.

Com sua forma praticamente definida, iniciamos os desenhos de fabricação com a auxílio do software Autocad.



Peso

O casco do veículo será feito de fibra de vidro. A densidade do composto de fibra a ser utilizado na a construção do casco do veículo é de aproximadamente 6.5 kg/m^2 , valor este obtido experimentalmente. A espessura do material será variável, de acordo com as solicitações de cada setor do veículo, submetidas a diferentes esforços. A densidade apresentada acima é portanto um valor médio.

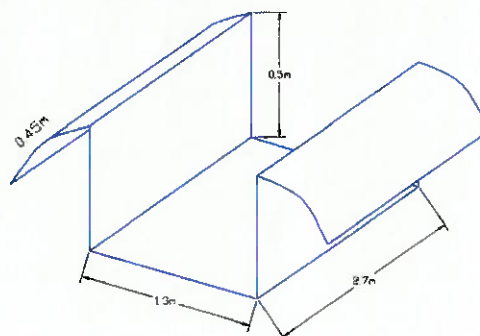
O peso do casco pode então ser estimado sabendo-se sua área total de superfície (somente as superfícies de fibra de vidro). A área será estimada através da divisão do casco em pedaços menores, tal que possamos calcular suas respectivas áreas.

Área de superfície:

- **superfície 1 (laterais e fundo):**

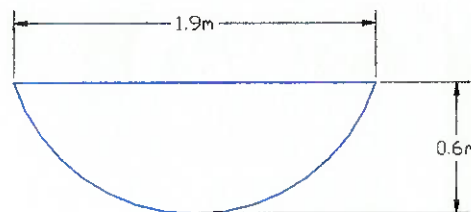
$$\text{Area}_1 = (0.45 \times 2 + 0.5 \times 2 + 1.3) \times 2.7$$

$$\text{Area}_1 = 8.64 \text{m}^2$$



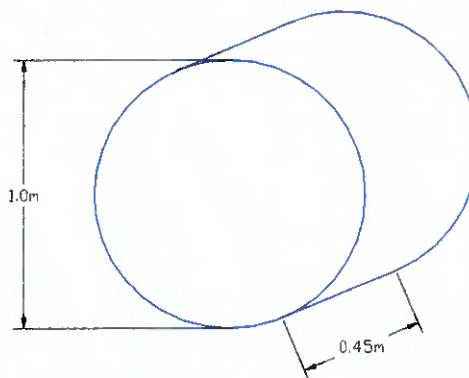
- **superfície 2 (frente):**

$$\text{Area}_2 = 0.6 \text{m}^2$$



- **superfície 3 (duto de ar):**

$$\text{Area}_2 = 1.4 \text{m}^2$$





Area estimada = $Area_1 + Area_2 + Area_3 = 10.64 \text{ m}^2$. Se considerarmos mais 2 m^2 de superfície para construção de reforços estruturais e junções, temos:

Area total = 12.64 m^2 .

Peso estimado = Area total $\times \rho_{\text{superficial da fibra}} = 12.64 \times 6.5 = 82.16 \text{ kg}$.

Este não é o valor exato do peso do veículo, pois como já foi visto, este método é baseado em aproximações. Podemos admitir então que o peso real do casco gire ao redor do valor acima com um erro de 10%.

Assim, o peso máximo estimado será de: $82.16 \times 1.1 = 90.38 \text{ Kg}$.

Construção

O casco foi construído sobre uma estrutura de madeira (chapa de compensado $2.2 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} \times 15 \text{ mm}$). Cada face construída sobre esta chapa era composta por três camadas de fibra de vidro. Uma vez laminado o material, este era recortado na medida projetada. Cada face era encaixada na sua posição e então colada através do uso de fibra de vidro.

Durante a laminação deve-se tomar um cuidado especial de modo a se evitar a formação de bolhas na superfície. A presença de bolhas altera as propriedades mecânicas do material, o que não é desejado.

Na construção da estrutura, será utilizado um sanduíche de fibra, composto de duas camadas de lâ de vidro, e entre elas uma camada de uma manta chamada coremat, que tem função estrutural e de enchimento.

Duto

O rotor, posicionado no interior do duto, é o elemento responsável pela conversão do torque, originário do motor, em energia cinética. Quanto melhor for a eficiência desta conversão, ou seja, quanto mais energia puder ser transformada, tanto melhor



será o desempenho de nosso veículo. Outros fatores também devem ser observados e atuam como restrições a seleção do rotor. Por exemplo, a velocidade periférica não pode exceder os limites especificados pelo fabricante, sob o risco de fadiga do material. Imagine o estrago que um estilhaço de um hélice girando a 2000 rpm, com velocidade periférica de 140 m/s poderia fazer.

O duto tem a função de melhorar a eficiência do rotor, bem como conter um eventual estilhaço proveniente do rotor. O duto possui ainda a função de dividir o fluxo de ar, desviando 30% deste para a sustentação. Isto é conseguido através da instalação de um anteparo logo após o hélice.

Para que haja um máximo rendimento da hélice utilizada, o duto não deve apresentar forma cilíndrica e sim a forma de um tronco de cone em que teremos dois raios R e r.

Segundo estudos por nós realizados, teremos as seguintes dimensões para os raios:

$$R = 0,5m$$

$$r = 0,47m$$

Vazão de sustentação

$$Q = \frac{K \cdot L \cdot W}{S_c \cdot (P_c)^{1/2}}$$

onde:

K: constante = 3.9212×10^{-3} ;

L: perímetro do pé da saia (8.47m);

W: peso total (2450N);

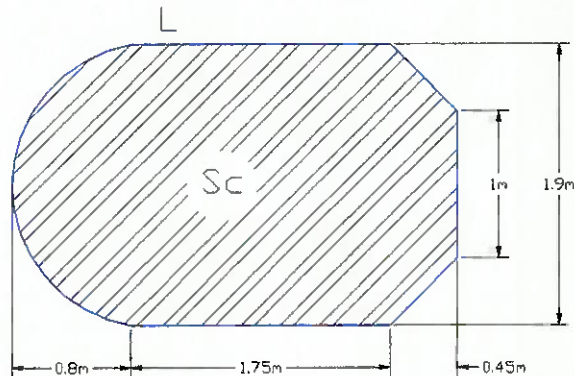
S_c : Área delimitada por L (5.12 m²);

P_c : pressão do colchão de ar (45 mmca);

Q: Vazão mín. de sustentação (m³/s);

$$Q = \frac{0.00392 \times 8.47 \times 2450}{5.12 \times (45)^{1/2}} =$$

$$Q_{\text{sustentação}} = 2.37 \text{ m}^3/\text{s} \quad (30\% \text{ do fluxo total})$$





$$Q_{\text{total}} = 8 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{fluxo total que entra no duto})$$

O rotor a ser selecionado deverá proporcionar um fluxo de ar superior $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rotor

O rotor é um dos elementos mais importantes em um hovercraft. Ele é o principal responsável pela transferência do torque do motor para o ar, transformando-o em energia cinética. Quanto melhor a eficiência do rotor, tanto melhor será o desempenho do veículo.

Foram pesquisados diversos fabricantes de ventiladores industriais. A maioria fornecia o conjunto completo, composto pelo rotor axial, o duto, mancais e em alguns casos mesmo o motor elétrico. Isto não nos interessava. Estes ventiladores também não eram os mais indicados para uma eventual adaptação no hovercraft, porque eram muito pesados (mesmo se considerado o rotor individualmente, fabricado em aço em alguns dos casos), e de performance a desejar (atingiam quando muito 70 m/s de velocidade periférica, o que levaria a uma limitação da rotação máxima inferior a 1400 rpm). Precisávamos de rotores melhores, com maior velocidade periférica e de peso inferior. Continuamos a procura e encontramos rotores fabricados em nylon com revestimento em fibra, com cubo bipartido, chavetado e injetado em alumínio. São bem mais leves, e atingem velocidades periféricas da ordem de 140 m/s .

Estes ventiladores tem as melhores características dentre os pesquisados para a utilização no hovercraft.

Velocidade periférica

O fator que determina a resistência de um ventilador é a sua velocidade periférica máxima, que é a velocidade linear da ponta da sua pá, que por sua vez é função do material no qual ele é fabricado.



Esta velocidade dependerá da máxima rotação que o ventilador terá.

Sendo:

n : rotação (em rotações por segundo);

V_p : velocidade periférica (em m/s);

R : raio do ventilador (em m);

w : velocidade angular (em rad/s).

$$w = \frac{V_p}{R}$$

$$V_p = 2\pi nR$$

$$w = 2\pi n$$

Para:

Uma rotação de 2500 rpm, teremos $n=41,67$ rps;

$R=0,5$ m.

Teremos:

$V_p=140$ m/s aproximadamente.

Segundo nossas pesquisas, materiais como ferro e aço apresentavam velocidades periféricas máximas da ordem de 70m/s, o que limitaria nossa rotação máxima entre 1300 e 1400 rpm, não sendo suficiente para fornecer o fluxo de ar necessário ao hovercraft.

Dentre os ventiladores pesquisados, encontramos uma indústria que produzia os ventiladores com as pás de nylon, os quais suportam velocidades periféricas de até 140 m/s, casando com as nossas necessidades.

Lei dos ventiladores



Nos ventiladores, temos vários parâmetros que influem na sua performance, tais como rotação, pressão estática, potência, diâmetro e outros. Seria impossível relacionar todas essas grandezas em uma mesma expressão matemática. Por isso, lançamos mão da lei dos ventiladores, onde temos várias expressões matemáticas que relacionam estas diversas grandezas, permitindo assim construir tabelas e gráficos, e a partir de dados conhecidos obter os parâmetros necessários a seleção do ventilador adequado ao nosso projeto.

Sendo:

n_1, n_2 : rotações;

Q_1, Q_2 : vazões;

N_1, N_2 : potências;

P_{t1}, P_{t2} : pressões estáticas;

d_1, d_2 : diâmetros.

Sendo que os índices 1 e 2 referem-se as duas situações de equivalência de um ventilador semelhante.

Seguem-se abaixo algumas das principais relações da lei dos ventiladores:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

$$\frac{P_{t1}}{P_{t2}} = \frac{n_1^2}{n_2^2}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}$$



$$\frac{Pt_1}{Pt_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{d_1^5}{d_2^5}$$

Nível de ruído

Segundo o fabricante do ventilador utilizado, o nível de ruído produzido por este pode ser obtido pelas seguintes relações a seguir:

$$NdB_{\min} = 22V_p^{1/3}$$

$$NdB_{\max} = 26V_p^{1/3}$$

Estas são relações empíricas, portanto o nível de ruído deverá ficar entre esses limites.

Também devemos ressaltar que este nível de ruído se deve apenas ao ventilador, não entrando aí motor e transmissão.

Configuração do Rotor

As tabelas que vem a seguir foram construídas utilizando os dados fornecidos pelo fabricante.

Inicialmente tomamos uma determinada rotação e inclinação das pás.



Então, aplicamos uma relação adequada dentre as diversas expressões da lei dos ventiladores, para que pudéssemos calcular a potência e a vazão do nosso ventilador, e aplicando as relações para cálculo do nível de ruído, fazer uma estimativa deste.

Cabe destacar que este método de obtenção de tabelas era um método de tentativas e erros uma vez que tínhamos que atingir um compromisso entre a vazão necessária (para sustentação e propulsão do hovercraft) e a potência consumida (advinda do motor).

Rotor de 16 pás

d1 1000 n1 900

Caso do Gráfico (este caso não ocorre)

Pest 2 (mmca)	Ang.	Pest 1 (mmca)	Q1 (m ³ /s)	N1 (KW)	Pd1 (mmca)	Pt1 (mmca)	n1	n2
0	20	0.0	6.1	1.2	4	4	0.19	2696
0	25	0.0	8.6	1.6	8	8	0.40	2449
0	30	0.0	10	2.2	10	10	0.45	2203
0	35	0.0	12.3	3.4	15	15	0.55	1905
0	40	0.0	14	4.6	20	20	0.59	1723
0	45	0.0	16.2	6.4	27	27	0.66	1543

d2 1000 gama 1.23

Caso Real

Q2 (m ³ /s)	N2 (KW)	N2 (hp)	Pd2 (mmca)	Pt2 (mmca)	N2	Vp (m/s)	NdB min	NdB max
18.3	32.2	43	34	34	0.188	141	115	135
23.4	32.2	43	56	56	0.396	128	111	131
24.5	32.2	43	61	61	0.453	115	107	127
26.0	32.2	43	69	69	0.545	100	102	121
26.8	32.2	43	73	73	0.594	90	99	117
27.8	32.2	43	78	78	0.662	81	95	112



Caso do Gráfico (este caso não ocorre)

Pest 2 (mmca)	Ang.	Pest 1 (mmca)	Q1 (m ³ /s)	N1 (KW)	Pd1 (mmca)	Pt1 (mmca)	n1	n2
50	20	6.0	5.7	1.35	3	9	0.38	2600
50	25	7.3	8.2	1.8	7	14	0.63	2350
50	30	9.2	9.2	2.6	9	18	0.62	2100
50	35	11.8	11.2	3.8	13	25	0.71	1850
50	40	14.3	12.7	5.1	16	31	0.75	1680
50	45	17.5	14.6	6.8	22	39	0.82	1520

Caso Real

Q2 (m ³ /s)	N2 (KW)	N2 (hp)	Pd2 (mmca)	Pt2 (mmca)	N2	Vp (m/s)	NdB min	NdB max
16.5	32.5	43.4	28	78	0.385	136	113	134
21.4	32.0	42.7	47	97	0.633	123	109	129
21.5	33.0	44	47	97	0.617	110	105	125
23.0	33.0	44	54	104	0.71	97	101	119
23.7	33.2	44.2	57	107	0.751	88	98	116
24.7	32.8	43.7	62	112	0.825	80	95	112

Rotor de 10 pás

d1 1120

n1 900

Caso do Gráfico (este caso não ocorre)

Pest 2 (mmca)	Ang.	Pest 1 (mmca)	Q1 (m ³ /s)	N1 (KW)	Pd1 (mmca)	Pt1 (mmca)	n1	n2
0	25	0.0	5.2	0.9	2	2	0.10	2970
0	30	0.0	7.8	1.2	4	4	0.25	2700
0	35	0.0	10.4	1.8	7	7	0.40	2350
0	40	0.0	13	2.6	11	11	0.54	2080
0	45	0.0	15.4	3.9	15	15	0.59	1820
0	50	0.0	17.9	5.7	21	21	0.64	1600



d2 1120

gama 1.23

Caso Real								
Q2 (m ³ /s)	N2 (KW)	N2 (hp)	Pd2 (mmca)	Pt2 (mmca)	N2	Vp (m/s)	NdB min	NdB max
17.2	32.3	43	19	19	0.099	174	123	145
23.4	32.4	43	35	35	0.25	158	119	141
27.2	32.0	43	48	48	0.396	138	114	134
30.0	32.1	43	58	58	0.535	122	109	129
31.1	32.3	43	63	63	0.593	107	104	123
31.8	32.0	43	65	65	0.637	94	100	118

Como pode se observar nas tabelas acima quanto maior a rotação do ventilador, tanto maior será seu rendimento. Porém a potência necessária para o acionamento cresce exponencialmente com o aumento da rotação. Assim se empregarmos ângulos muito elevados (45°) necessitaríamos de um motor muito potente para o acionamento do ventilador.

Limitando a potência fornecida em 43hp iremos analisar agora o desempenho do ventilador. Para um ângulo 20° teremos uma rotação de 2600rpm. A vazão para esta rotação é baixa e o nível de ruídos altíssimo. Assim este ângulo de ataque está descartado. Tomando-se agora um ângulo de 35°, teremos uma rotação de 1850rpm. Os níveis de ruído para esta rotação são aceitáveis (110dB). A vazão para este caso é de 23 metros cúbicos por segundo, valor três vezes superior ao calculado, sendo esta a nossa escolha.

Fluxo de ar

fluxo de ar que passa pelo duto é dividido em dois: 30% deste destinado a sustentação do veículo, 70% para sua propulsão. Esta divisão é conseguida através da instalação de um anteparo montado na saída do duto . Perfis estrategicamente posicionados embaixo desse anteparo conseguem minimizar as perdas de energia surgidas na formação dos vórtices.



- Fluxo de sustentação

Este fluxo de ar é responsável por duas funções:

Manter a bolsa de ar inflada;

Manter o veículo sem contato com o solo.

A rigidez da bolsa de ar é de fundamental importância para a estabilidade do veículo. Quanto mais rígida for esta bolsa, tanto mais estável será o veículo. Em contrapartida, quanto menor for esta rigidez, maior será a suavidade com que o hovercraft vencerá seus obstáculos.

- Fluxo de propulsão

Este fluxo como o próprio nome diz é o responsável pela propulsão do veículo. Ele não sofre mudança de direção ao passar pelo duto, caso o leme esteja alinhado. Se quisermos fazer uma curva, teremos que alterar a direção deste fluxo de ar. Para tanto basta alterar o posicionamento angular do leme.

BOLSA

Material

O material da bolsa deve apresentar as seguintes propriedades:

- Leve;
- Flexível;
- Não poroso (para ar e água);
- Alta tensão de ruptura a tração (não será solicitado na compressão);
- Resistente a abrasão.

O alta tensão de ruptura, flexibilidade e baixo peso podem ser conseguidos com um tecido de nylon. A resistência a abrasão e impermeabilidade podem ser conseguidas revestindo-se o nylon em ambas as faces com uma camada de borracha sintética. Esta camada de revestimento, porém, irá comprometer as características de



flexibilidade conseguidas com o tecido de nylon. Assim, o melhor revestimento será aquele que melhor resistir a abrasão, e que menos interfira na diminuição da flexibilidade do sistema ("sanduíche de nylon e borracha sintética").

Temperaturas muito baixas também podem prejudicar esta flexibilidade. Quanto menor for a temperatura local, maior será a rigidez do conjunto. Para este caso em particular, a borracha de "neoprene" oferece ótimo desempenho, e é muito utilizada nas saias de hovercrafts que operam em regiões de clima extremamente frio.

Em regiões de clima quente, o efeito da temperatura na rigidez da saia é muito pequeno. Borrachas similares podem substituir o "neoprene", uma vez que seu custo é relativamente alto.

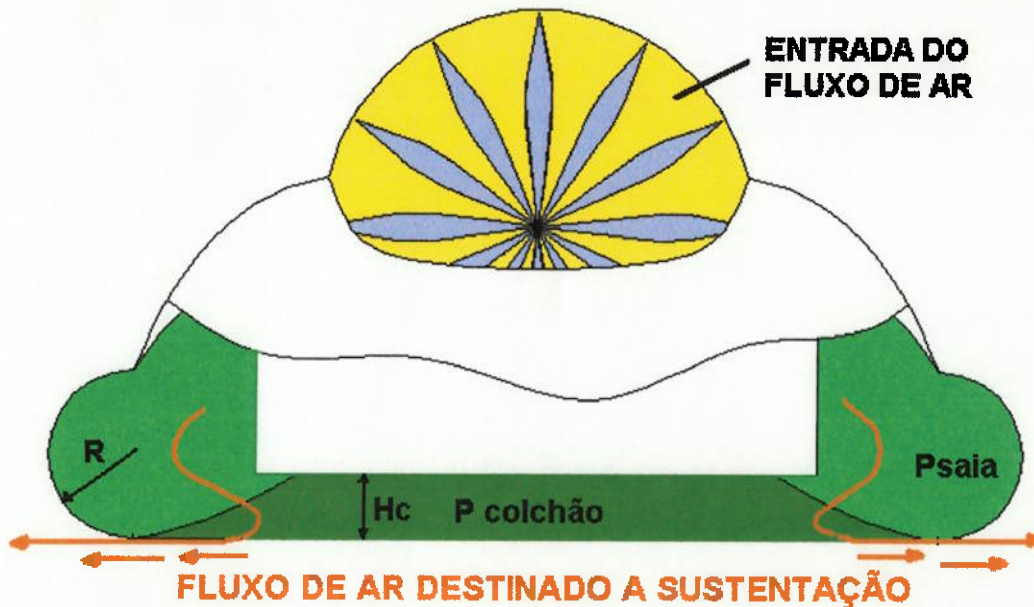
O material a ser utilizado será aquele disponível no mercado, significando que talvez a escolha não seja propriamente a mais adequada quanto aos critérios apresentados acima. Uma das alternativas encontradas é a construção de um sanduíche de nylon revestido com uma camada de borracha de Hypalon. Esta associação não é muito interessante quando analisamos seu peso, demasiado alto para a uma saia.

Forma construtiva

Primeiramente devemos definir a altura "Hc", que é a distância entre a superfície inferior do casco do hovercraft e solo (ou água), quando o veículo estiver em movimento. Nesta situação o casco deverá transpor eventuais obstáculos que por ventura tenham passado pela bolsa, que é flexível e pode se deformar, ao contrário do casco. Esta altura não pode ser muito alta, pois isto deixaria o veículo instável.

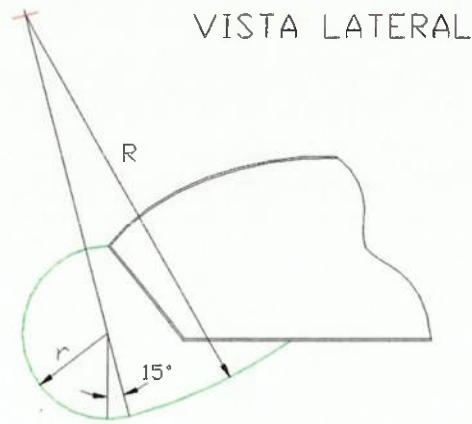
A altura Hc é função do comprimento do veículo, e seu valor gira em torno de 7% deste. Assim:

$$Hc = 0.07 \times 3m = 0.21m$$



O fluxo de ar destinado a sustentação é submetido a três diferentes pressões durante o seu trajeto. O ar é admitido através do duto de propulsão e sustentação (em amarelo na figura). Um anteparo instalado na saída do duto divide o fluxo de ar. Dois terços passam direto, ganhando energia e impulsionando o veículo. O restante é desviado pelo anteparo e distribuído por toda a saia. Pequenos orifícios abertos na região interna da saia possibilitam o ar passar para a região imediatamente abaixo do casco, formando aí o colchão de ar. A pressão no interior da saia é ligeiramente maior do que a pressão do colchão, sendo este fato extremamente importante quanto a estabilidade do veículo. Quanto maior for a relação (Pressão da saia) / (Pressão do colchão), tanto maior será sua rigidez, e mais estável será o veículo. Porém, este aumento de pressão tem o inconveniente de diminuir a vazão total do sistema, pois gera um carga maior a ser vencida na saída do duto de propulsão e sustentação.

A saia agora já pode ser desenhada, como mostra a figura abaixo:



O raio interno “R” da saia é determinado em função da relação de pressões $P_{saia}/P_{colchão}$, como mostrado na tabela abaixo:

$P_{saia} / P_{colchão}$	R / r
1.2	6
1.3	4.5
1.4	3.5
1.5	3.0

Adotando $r = 225 \text{ mm}$ (vide desenho de conjunto), e $P_{saia} / P_{colchão} = 1.3$, vem:

$$R = 1012.5 \text{ mm}$$

O peso máximo do veículo foi estipulado em 250 kg nas especificações técnicas do estudo de viabilidade, bem como as dimensões externas em 3m x 1.9 m. Assim, já podemos determinar a pressão do colchão de ar:

$$P_{colchão} = \frac{\text{Peso do veículo}}{\text{área}^*} = \frac{250}{3 \times 1.9} = 44 \text{ kg} / \text{m}^2$$

Onde a área* é a área delimitada pelo perímetro da região da saia mais próxima a superfície. Assim, a pressão do colchão gira em torno dos 450 Pa.



Recorte da saia

A saia deve ser recortada de modo que uma folha plana do material escolhido, se transforme no perfil necessário para envolver o hovercraft. Este perfil é aproximadamente o de um toróide.

É necessário tomar bastante cuidado nesta parte do projeto para que o recorte da saia seja feito corretamente, evitando assim o desperdício de material.

Motor

Para a movimentação do hovercraft, tanto a força de propulsão, quanto de sustentação, são provenientes de um motor que proporcione potência suficiente para ambos os requisitos. Também necessita-se de um motor que não seja excessivamente pesado, pois quanto mais leve for o conjunto, tanto melhor será a performance do veículo, maior a sua altura de “hover”, menores os desgastes sofridos pela saia.

Outro fator importante é o preço do motor. Não poderíamos usar um motor de preço muito elevado, uma vez que este não se encaixaria no orçamento previsto do projeto.

Para a escolha do motor, definimos uma faixa de potência compreendida entre 30cv e 60cv. Dentro desta faixa, temos motores que podem ser encontrados montados em carros, motocicletas, ultraleves, karts de competição, etc. Dentre as infinitas opções que o mercado fornece, foram analisados os seguintes:

- Motor de VW 1600cc (65HP)
- Motor de Kart PARILLA 2T 125cc. (33HP)
- Motor de Kart RIOMAR V4 2T 125cc. (28IIP)
- Motor ROTAX 503 (54HP)
- Motor CB450dx (43.3CV)



Os quais serão descritos mais detalhadamente a seguir:

Motor Volkswagen "Fusca" 1600cc

Potência	65 hp
Cilindrada	1600 cc
Peso	95 Kg
Combustível	Gasolina
Carburação	Dupla
Refrigeração	A ar
Cilindros	4
Partida	elétrica *
Preço	R\$ 700,00 **

** A adaptar, pois o motor de arranque é preso na caixa de cambio, que não estará presente;*

*** A base de troca.*

Motor de Kart Parilla

Potência	33 hp
Cilindrada	125 cc
Peso	15 Kg
Combustível	Álcool + Óleo 2T
Carburação	Simple ou dupla
Refrigeração	A ar
Cilindros	1
Partida	Manual
Preço	R\$ 1.950,00



Motor de Kart Riomar V4

Potência	28 hp
Cilindrada	125 cc
Peso	14 Kg
Combustível	Álcool + Óleo 2T
Carburação	Simples ou dupla
Refrigeração	A ar
Cilindros	1
Partida	Manual
Preço	R\$ 1.250,00

Motor ROTAX 503

Potência	54 hp
Combustível	gasolina + Óleo 2T
Carburação	Simples
Refrigeração	A ar
Preço	US\$ 4.500,00 *

** Sem impostos*



Motor HONDA CB450dx

Potência	43.3 hp
Cilindrada	450 cc
Peso	70 Kg
Combustível	Gasolina
Carburador	dupla
Refrigeração	Radiador a óleo
Cilindros	2
Cambio	6 marchas
Preço	R\$ 600,00 *

* Usado, proveniente de leilões do
DETRAN.

Seleção do motor

Com base nas especificações acima, nas especificações técnicas do projeto e no custo desse, a opção recaiu sobre o motor CB450dx.

Este, apesar de apresentar um peso bem maior que os motores 2T (Parilla e Riomar), também apresenta uma potência maior.

Será necessário, pelos cálculos de vazão realizados na seleção do rotor, uma potência de cerca de 50 hp. Para a utilização de um motor Parilla, seriam necessários dois deles, ligados em série para a obtenção da potência desejada. No entanto um motor Parilla apresenta um custo muito alto, na base de R\$ 1700,00 por unidade, perfazendo um total de R\$ 3400,00 apenas para os motores, o que encareceria excessivamente o preço final do projeto, ao passo que um motor Volkswagen 1600 usado pode ser encontrado por R\$ 700,00 a base de troca na grande São Paulo, dependendo de seu estado de conservação. E neste caso, apenas



um motor é suficiente, pois ele apresenta potência de 65 hp, o suficiente para os requisitos técnicos do projeto.

Vantagens adicionais deste motor são a sua durabilidade comprovadamente longa e a sua fácil manutenção, uma vez que este é um motor clássico e já familiar dos brasileiros.

As desvantagens ficam por conta de seu peso, bastante alto, pelo fato de ser bastante barulhento, e pela alta emissão de poluentes, sendo então um motor “ecologicamente incorreto”.

O motor Rotax é muito utilizado em ultraleves por ter uma ótima relação peso/potência. É um motor de fabricação estrangeira, o que complicaria sua manutenção. Seu preço é de US\$4000,00 sem impostos, o que por si só inviabiliza a aquisição deste motor. Se o seu preço fosse menor este seria o motor escolhido para o acionamento do ventilador, pois é o que apresenta a melhor relação peso/potência.

O motor CB450dx é utilizado em motocicletas da Honda. Estas motos não são mais fabricadas, mas podem ser encontradas facilmente em qualquer loja especializada na Grande São Paulo, a um preço bastante encorajador (R\$600,00). Possui partida elétrica, o que facilita muito o início de seu funcionamento. Os motores de kart 2T analisados não tem partida elétrica, e sua partida é extremamente trabalhosa. O motor da Honda também tem a vantagem de apresentar um câmbio de 6 marchas, sendo que na primeira relação de transmissão obtêm-se uma redução de 2.8. A potência máxima de 43cv é obtida numa rotação de 6500rpm. A transmissão é a mesma das utilizadas em motos (corrente, coroa e pinhão). Por tudo isto este será o motor a ser utilizado para o acionamento do ventilador.



Partida do motor

Um motor Volkswagen 1600 devido ao seu grande porte, necessita de um esquema de partida com uma bateria e um motor de arranque para iniciar o funcionamento. No caso do nosso hovercraft, este será o esquema utilizado para colocar o motor em operação. Havia a opção de uma corda ligada ao volante do motor, que sendo puxada, rodaria o volante, que por sua vez acionaria o motor. Contudo, essa solução não seria satisfatória devido a grande força que seria necessária para conseguir rodar o volante, devido a compressão das velas nos cilindros (4 no total), tornando esse processo dificultoso e cansativo, quando não, infactível.

Contudo, a adoção do sistema bateria/motor de arranque apresenta dois pequenos inconvenientes, que são o aumento no preço final e no peso total do protótipo.

Esse é o preço a pagar pela comodidade da partida elétrica, que é muito mais confortável e eficiente do que a partida manual.

O motor CB450 já apresenta o motor de arranque afixado em sua carcaça. Isto simplifica bastante o projeto, sendo mais uma justificativa para a escolha do motor da honda.

Fixação do motor

A estrutura de fixação que irá prender o motor CB450dx ao casco do hovercraft deverá sustentar uma força de 700N (peso estático do motor), além dos demais esforços dinâmicos e eventuais vibrações provenientes de seu funcionamento.



O eixo de saída do torque é entalhado, e nele vai afixado um pinhão de 16 dentes. O motor deve obrigatoriamente estar montado de modo que o óleo de seu carter fique necessariamente no carter, uma vez que se montarmos o motor de cabeça para baixo, a bomba de óleo não irá funcionar (pela simples razão de não ter óleo para bombear), comprometendo seriamente a lubrificação e resfriamento do virabrequim, eixo do comando de válvulas, pistão e camisa, mancais de deslizamento, etc. Assim, o motor deverá obrigatoriamente estar montado em uma posição próxima da horizontal, com inclinação máxima de 30°. Isto gera um problema sério: a corrente de transmissão irá ocupar o mesmo espaço físico que o carburador esquerdo. Para solucionar este problema pensamos em três soluções:

1. Eixo extensor entalhado;
2. Eixo “bobo”
3. Montagem inclinada do motor.

Eixo extensor entalhado

Esta solução tem como idéia principal deslocar o plano em que gira o pinhão (plano cuja normal tem a direção do eixo de rotação do pinhão) em 100mm, de modo que a corrente não mais encoste no carburador esquerdo.

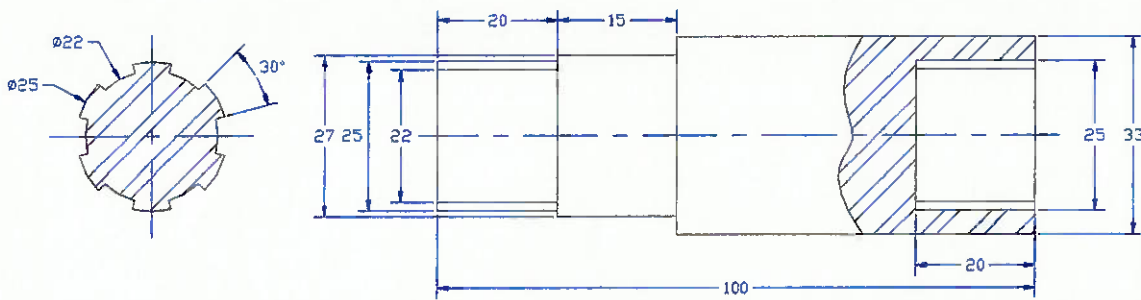
O eixo entalhado estaria vinculado (dependendo da extensão do acoplamento do entalhe, este vínculo teria um comportamento de engaste) em sua extremidade “femea”, encaixada na ponta de eixo entalhada que sai do motor.

Sua outra extremidade deverá também estar vinculada, através de um rolamento. Para sustentar este rolamento uma nova estrutura deveria ser projetada de modo a fixa-lo ao motor.

O orçamento da página seguinte é referente somente a fabricação do eixo entalhado, não incluindo o rolamento nem a estrutura necessária a sua fixação. Note que o preço orçado é de R\$ 297,00, com um prazo de entrega de 30 dias. Ou seja, o preço desta pequenina peça é equivalente a metade do valor do motor usado



CB450dx utilizado em nosso projeto. Esta opção é sem dúvida a melhor dentre as três soluções citadas, mas face a este alto preço, fica completamente descartada!



Eixo extensor entalhado (tolerâncias a critério do fabricante)



Eixo “bobo”

Esta solução tem como idéia principal não modificar ou alterar as condições de funcionamento do motor. Para tanto, seria instalado um eixo auxiliar, no qual estariam afixados dois pinhões idênticos. O primeiro pinhão receberia o torque originário do motor através de uma corrente primária. Preso ao eixo “bobo” através de um entalhe, o primeiro pinhão transfere o torque para o segundo, sem praticamente nenhuma alteração em seu valor, uma vez que os pinhões são idênticos e o eixo não sofre a ação de mais nenhum esforço externo, com exceção do torque a ele transmitido. Uma corrente secundária que ligada a coroa, transfere toda a energia a ela conferida para o ventilador, como mostra a figura abaixo:

Como na solução anterior, precisaríamos fabricar um eixo, com dois entalhes, de modo a fixar os pinhões. Isto significa custos elevados para o projeto, e esta solução foi monetariamente descartada.

Montagem inclinada do motor.

Esta solução tem como idéia principal simplificar o projeto deste conjunto. O motor, esteja ele montado em qualquer uma das três soluções apresentadas, necessitaria de uma estrutura que o fixasse ao casco do veículo. Aqui propomos a construção de uma estrutura que não só fixe o motor, mas que elimine o problema de interferência corrente / carburador. Isto pode ser conseguido deslocando-se o motor para a direita do veículo, e inclinando-o 30° com a horizontal. O deslocamento de uma massa tão elevada (70Kg) implica no desbalanceamento lateral do hovercraft. Para corrigir este inconveniente, contrapesos serão instalados na extremidade esquerda do veículo. Esta não é a melhor solução encontrada, mas é a mais rápida de ser executada, e a única economicamente viável para nós. Além disso, esta solução simplifica muito o andamento do projeto, dando prosseguimento ao trabalho.



Transmissão

O motor escolhido para acionar o ventilador proporciona uma rotação muito maior que a desejada, pois esta é limitada pelo material das pás do ventilador.

Sendo assim, se torna inviável a ligação direta entre o eixo de saída do motor e o eixo do ventilador. Isso torna necessário uma redução de rotação entre o ventilador e o motor.

Para obter esta redução lançamos mão de um sistema de transmissão. Vamos analisar duas soluções possíveis:

1. Polias e correia
2. Pinhão, coroa e corrente.

Polias e correia

A transmissão por polias e correia consiste na ligação de uma polia no eixo de saída do motor e de uma outra no eixo do ventilador, com diâmetros diferentes, proporcionais a rotação do motor e a rotação que se quer obter do ventilador.

Sendo:

n_m : rotação do motor;

n_v : rotação desejada no ventilador;

d_m : diâmetro da polia ligada ao eixo de saída do motor;

d_v : diâmetro da polia ligada ao eixo do ventilador.

Teremos a seguinte relação:



$$\frac{n_m}{n_v} = \frac{d_v}{d_m}$$

Com esta expressão, podemos calcular em função das rotações do motor e do ventilador a relação de diâmetros entre as polias.

No entanto, devido as altas rotações e altas temperaturas envolvidas, pode ocorrer escorregamento e deformação da correia, uma vez que esta é feita geralmente de borracha. Isto acaba inviabilizando esta configuração de transmissão.

Pinhão, coroa e corrente.

A transmissão deste tipo consiste no acoplamento de uma engrenagem no eixo de saída do motor, chamada pinhão e de uma outra, de maior diâmetro, no eixo do ventilador, chamada coroa e a ligação destas duas engrenagens por uma corrente. A redução de rotação, analogamente a transmissão por polias e correia, se dá através das relações entre o diâmetro do pinhão e da coroa.

Sendo:

n_m : rotação do motor;

n_v : rotação desejada no ventilador;

d_p : diâmetro do pinhão;

d_c : diâmetro da coroa;

z_p : número de dentes do pinhão;

z_c : número de dentes da coroa;

Analogamente a transmissão por polias e correia, temos a seguinte relação:



$$\frac{n_v}{n_m} = \frac{d_p}{d_c} = \frac{z_p}{z_c}$$

Com estes dados, construímos as seguintes tabelas, analisando os seguintes números de dentes:

$$z_p = 16 \text{ dentes}$$

$$z_c = 45 \text{ dentes}$$

E a relação de transmissão r:

$$r = \frac{z_c}{z_p} = \frac{45}{16} = 2.8125$$

Estas tabelas foram construídas considerando-se a redução acima e as relações de transmissão do câmbio da moto.

A tabela logo abaixo mostra a redução completa, conjugando a redução devida ao câmbio conjugadamente com a redução do sistema coroa-pinhão.

As tabelas abaixo mostram o quanto a rotação do motor é reduzida pelo sistema câmbio-transmissão.

Pinhão	16		RPM	6500
			MOTOR	
Coroa	45			
rel	2.8125			
1a.	2.857	8.0353125	1a.	808.929335
2a.	1.947	5.4759375	2a.	1187.01136
3a.	1.545	4.3453125	3a.	1495.8648
4a.	1.28	3.6	4a.	1805.55556
5a.	1.074	3.020625	5a.	2151.87254
6a.	0.931	2.6184375	6a.	2482.39647
Marcha	1			
rel trans.	8.0353125			

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		373



4000		498
5000		622
6000		747
7000		871
8000		996
9000		1120
10000		1245

Marcha 2
rel trans. 5.4759375

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		548
4000		730
5000		913
6000		1096
7000		1278
8000		1461
9000		1644
10000		1826

Marcha 3
rel trans. 4.3453125

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		690
4000		921
5000		1151
6000		1381
7000		1611
8000		1841
9000		2071
10000		2301

Marcha 4
rel trans. 3.6

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		833
4000		1111
5000		1389
6000		1667
7000		1944
8000		2222
9000		2500
10000		2778



Marcha 5
rel trans. 3.020625

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		993
4000		1324
5000		1655
6000		1986
7000		2317
8000		2648
9000		2980
10000		3311

Marcha 6
rel trans. 2.6184375

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		1146
4000		1528
5000		1910
6000		2291
7000		2673
8000		3055
9000		3437
10000		3819

Marcha 1
rel trans. 0

Conta Giros	RPM EIXO	(valor esperado)
3000		373
4000		498
5000		622
6000		747
7000		871
8000		996
9000		1120
10000		1245



Elementos de flutuação

No caso de uma acidente com o hovercraft, é necessário, por questão de segurança a utilização de elementos de flutuação para garantir que o veículo, caso esteja em água, não afunde.

No nosso caso, utilizaremos blocos de isopor de 0,5x0,2x0,1 m, localizados em posições estratégicas do hovercraft. Estes blocos garantirão a flutuabilidade necessária para o veículo.

A utilização do isopor como elemento de flutuação, se deve:

- Preço relativamente baixo;
- Facilidade de encontra-lo;
- Facilidade de trabalha-lo;
- Excelente desempenho como elemento de flutuação.

Controle

O controle da direção do fluxo de ar de propulsão do hovercraft será feito através de lemes.

Estes lemes serão chapas de alumínio presas a um quadro, que poderá ser de alumínio ou de ferro, e que terão sua angulação modificada através de comandos do piloto alterando assim a direção do fluxo de ar com o objetivo de fazer curvas.



PROJETO EXECUTIVO

Nesta parte do trabalho, como exposição ao projeto básico discutido, apresentaremos um levantamento de custos do projeto e fotos da construção do hovercraft.

Custos

Esta tabela montada a seguir mostra o custo dos materiais utilizados na fabricação do hovercraft, não contando a mão de obra.

A primeira tabela mostra os gastos relativos a construção da “carroceria” do hovercraft, tendo ai inclusos os gastos com toda a parte de fibra

PROJETO HOVERCRAFT DE PEQUENO PORTE

Custos

Descrição	Qtd.	Valor
nota fiscal: 35452		
Tecido RP30	4 m	R\$ 35.12
Placa Isopor (100x500x1000mm)	5 un	R\$ 33.05
nota fiscal: 35466		
Rolete convencional	1 un	R\$ 7.63
THERFANE 18 microns	10 m	R\$ 14.50
Copo beker	1 un	R\$ 2.80
Placa Isopor (100x500x1000mm)	7 un	R\$ 46.27
nota fiscal: 35496		
Rolete convencional	1 un	R\$ 7.63
Manta 450 (2x1kg)	2 pct	R\$ 14.82
coremat 3mm	3 m	R\$ 34.68
Therfane 18 microns	4 m	R\$ 5.80
Proveta em plast.	1 un	R\$ 1.31
Acelerador de coalto (100g)	1 fr	R\$ 3.17
Resina para laminação (20kg)	1 lata	R\$ 65.00
nota fiscal: 34878		
manta 450 (1x10kg)	1 pct	R\$ 62.90
Disco de lixar 16	1 un	R\$ 2.66
Disco de lixar 24	1 un	R\$ 2.35
Disco de lixar 80	1 un	R\$ 3.82
cat butanox m-50 (1x1kg)	1 fr	R\$ 15.16
Therfane 18 microns (10m)	10 m	R\$ 14.50
Coremat 2mm	10 m	R\$ 81.20



Projeto de um hovercraft de pequeno porte

Resina para laminação (20kg) nota fiscal: 35611	2 latas	R\$ 100.00
Resina para laminação (20kg)	1 LT	R\$ 64.90
Solvente SIQ 500 (5 LTS)	1 GL	R\$ 10.66
THERFANE	5 m	R\$ 7.25
nota fiscal: 22933 (Paolucci)		
Thinner 2137	2 LT	R\$ 23.40
Primer	1 1/4 galao	R\$ 6.00
Fita crepe 19 x 50	1 un	R\$ 1.60
Fita crepe 25 x 50	1 un	R\$ 2.50
nota fiscal: 86140 (Quatro cabos)		
Laminado Night day	11 m	R\$ 93.50
Cola PVC	1 LT	R\$ 10.00
Diversos		
SIQPLAS (resina epoxi R16,29, etc...)		R\$ 29.45
4 chapas compensado 40mm		R\$ 40.00
1 chapa 10mm, 1 chapa 15mm, eucatex		R\$ 35.00
SIQPLAS (manta 450, latao resina 20kg, coremat)		R\$ 135.88
SIQPLAS (manta 450, galao 5kg resina, etc)		R\$ 42.24
Tinner (5lts)	3 latas	R\$ 30.00
Isopor (2 feiches)	2 un	R\$ 21.00
Parcial		R\$ 1,107.75
Pintura		
Tinner (5lts)	1 lata	R\$ 10.00
Primer pu, primer universal	2 latas 1/4	R\$ 20.00

A tabela a seguir mostra os gastos com o motor:

Gastos com o motor do Hovercraft		
Peça	Quantidade	Preço
Motor CB450	1	R\$ 600,00
Radiador, bateria, bobina, cabos e carburador	1	R\$200,00
Pinhão 16 dentes	1	R\$5,00
Coroa 45 dentes	1	R\$15,00
Kit Reparo do carburador	2	R\$44,00
Corneta	2	R\$24,00
Buxa de amianto	2	R\$3,00
Escape	2	R\$30,00
Manopla	1	R\$5,00
Material para mesa do motor		R\$15,00
Tubo 40 mm para o escape	4.5 metros	R\$5,00
Total		R\$946,00



Por estas duas tabelas, chegamos ao gasto total do hovercraft até o presente momento:

R\$ 2.083,75

É importante frisar que estes gastos se referem até o presente momento, não inclusos aí o gasto com equipamentos de controle e com a parte de acabamento e pintura, uma vez que não estão concluídas estas partes do projeto.

Fotos

Nas páginas seguintes apresentamos uma coletânea de fotos do hovercraft, desde de o modelo de isopor, feito antes do início da construção até as fotos mais recentes, em que estão já instalados o motor e a hélice.

Há também fotos do motor separado, dele desmontado e de alguns de seus componentes.

Estas fotos mostram o desenvolvimento da construção do protótipo, desde o modelo de isopor até o hovercraft propriamente dito, na sua forma construtiva mais atual.



Modelo em isopor



Hovercraft na piscina (vista frontal)



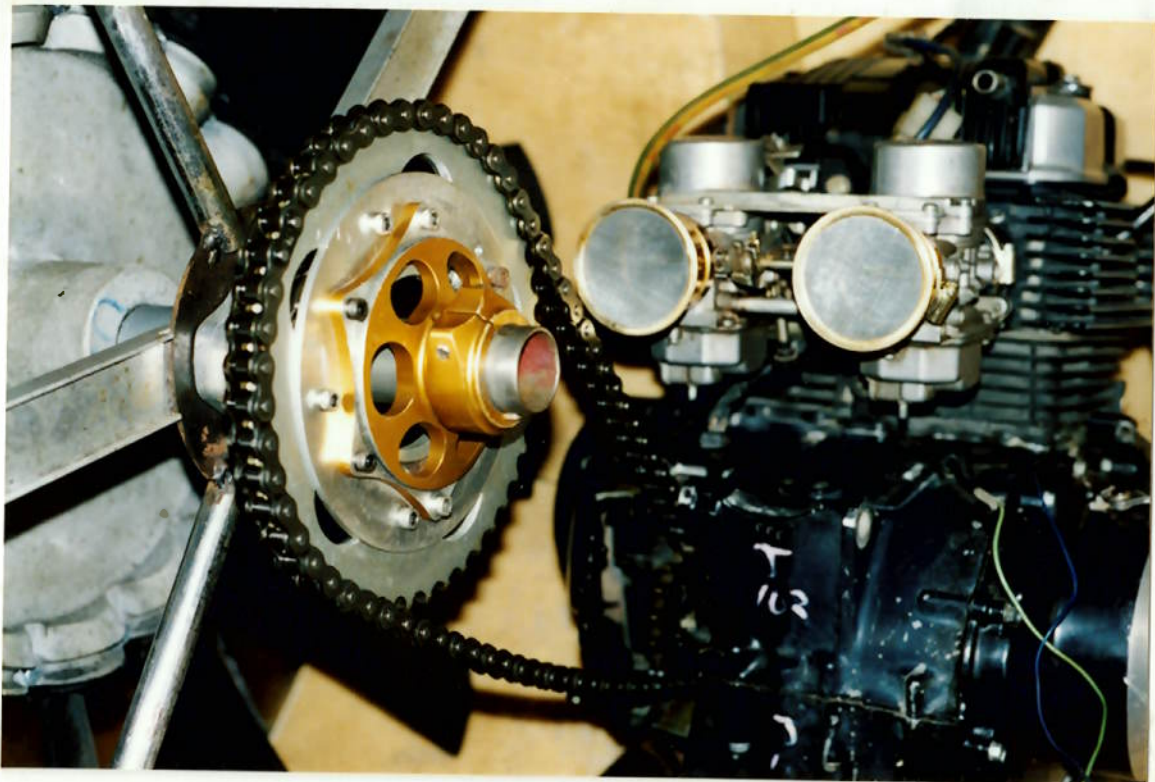
Hovercraft na piscina (vista lateral)



Hovercraft na carreta de transporte



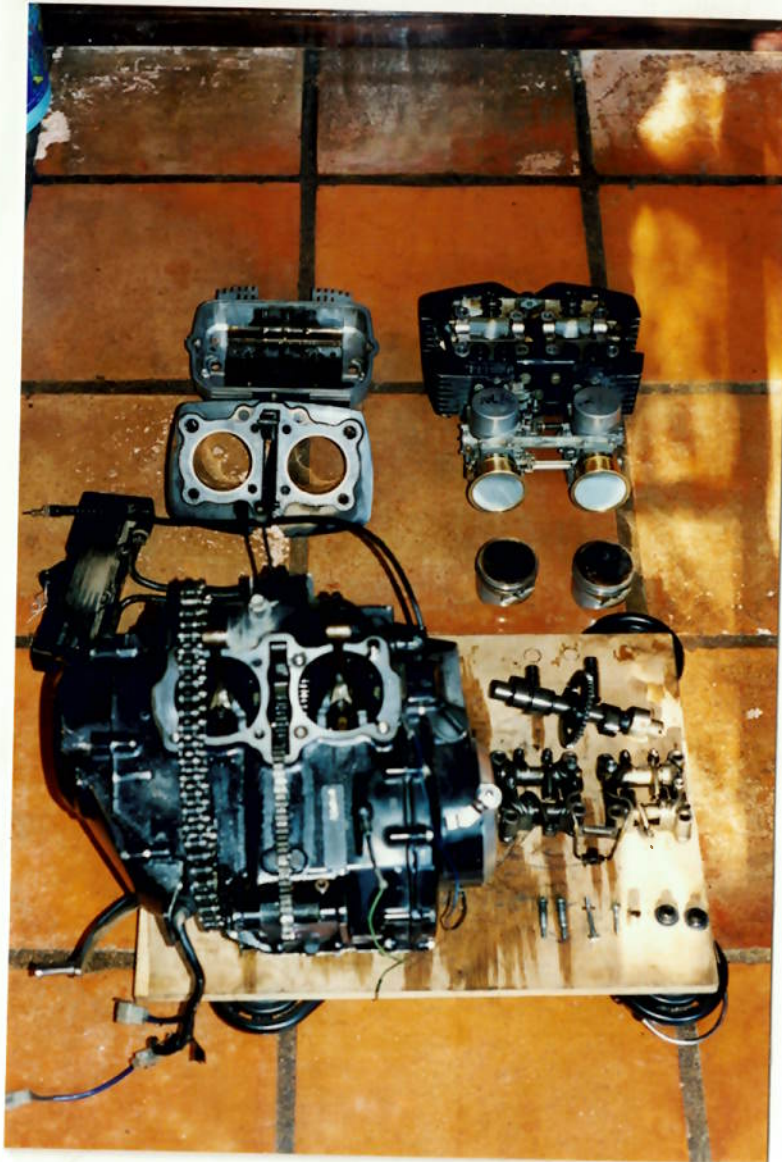
Hovercraft na carreta



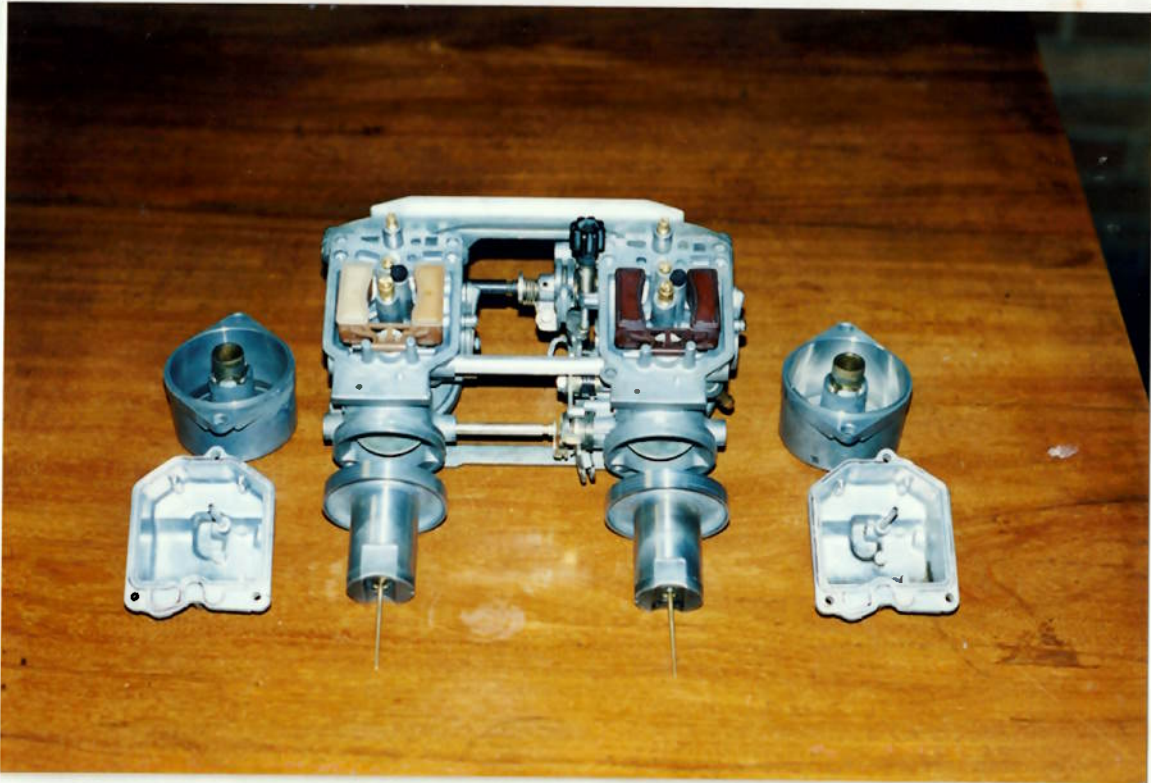
Motor e transmissão do hovercraft



Motor e transmissão do hovercraft (Outra vista)



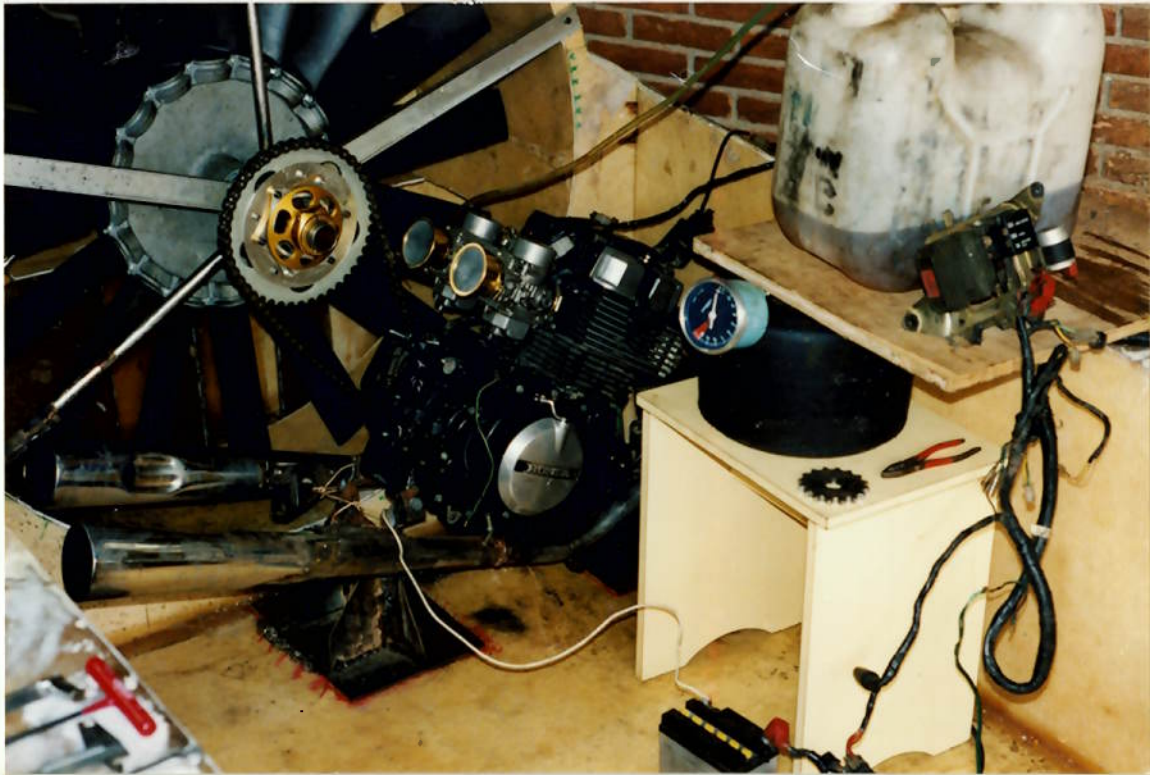
Motor do Hovercraft desmontado



Carburador do motor do Hovercraft



Pistões do motor do Hovercraft



Motor, transmissão e hélice do Hovercraft



Hovercraft (Foto mais recente)

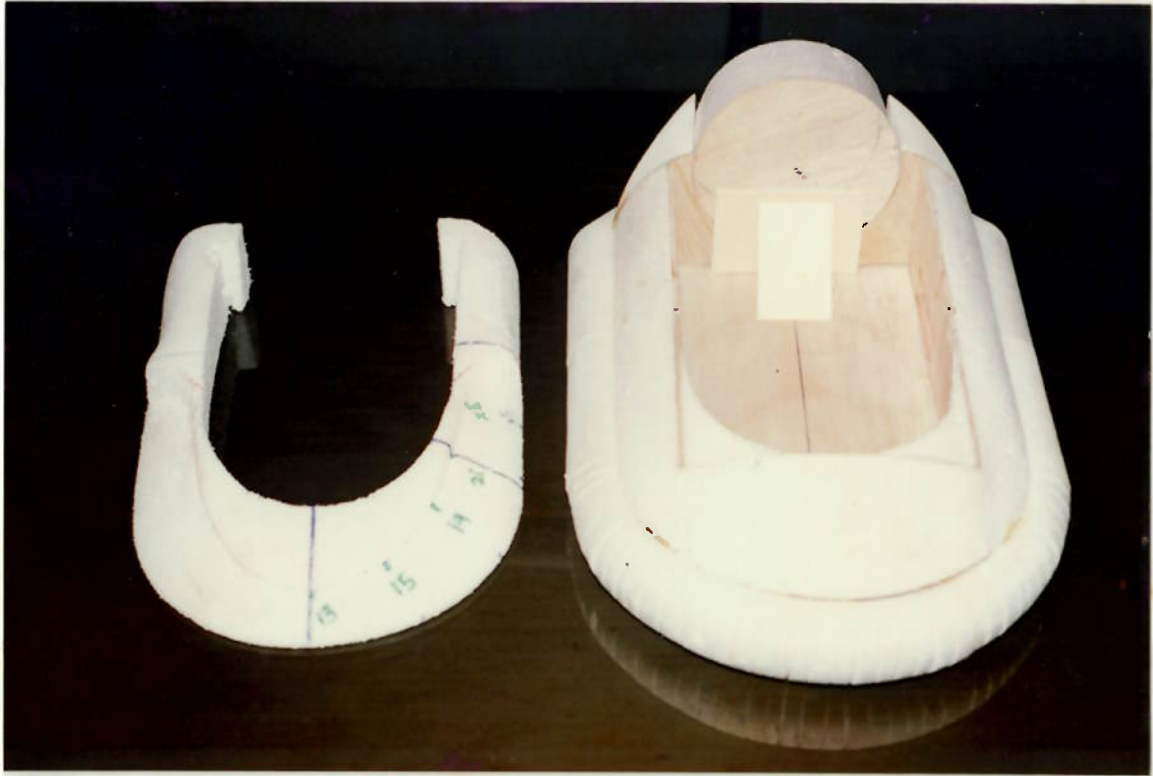


BIBLIOGRAFIA

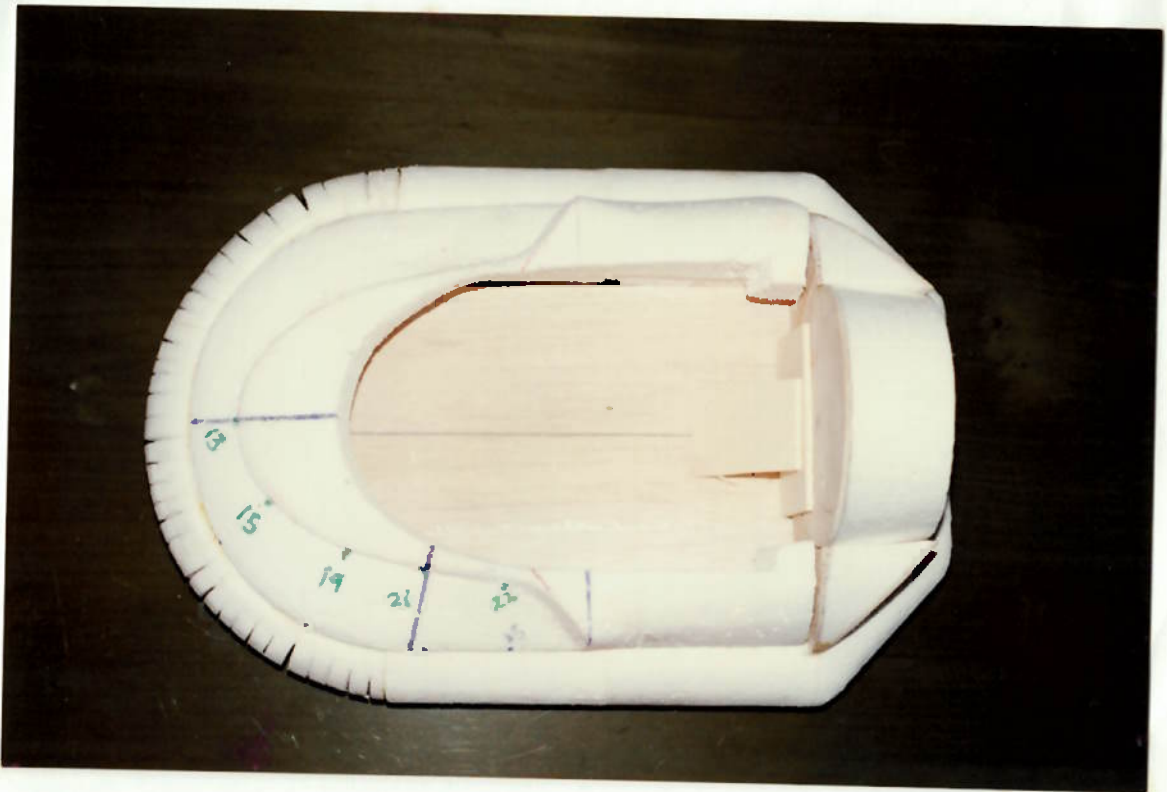
1. Elsley, G.H.e Devereux, A.J. - Hovercraft Design and construction - David & Charles Newton Abbot - 1968;
2. Trillo, R. T. - Marine Hovercraft Technology - Leonard Hill London - 1971
3. Amyot, J.R. - Hovercraft Technology, Economics and Aplications - National Research Council of Canada - 1989

Sites consultados na Internet

1. Stew's Hovercraft Page - www.smu.edu/~smayer/stewstuf/hover.html
2. Hovercraft Office - www.cc.kumamoto-it.ac.jp/~matuo/acv/design/outline.html
3. Hoverclub of America - www.hoverclubofamerica.org
4. Oregon Hovercraft - www.continent.com/hovercraft
5. Universal Hovercraft - www.hovercraft.com



Modelo em isopor



Modelo em isopor