



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1893 - 1993 TRADIÇÃO E MODERNIDADE

Hovercraft: Desenvolvimento de um Veículo **Todo Terreno e Plena Manobrabilidade**

Estudo de Viabilidade e Projeto Básico

dezembro 1998

8 (ôto)
11/ saburo

OK

Professor Orientador: Saburo Ikeda

Autores: Egidio Guelpa
Marcos Nogueira

ÍNDICE GERAL

1. ESTUDO DE VIABILIDADE:

- 1.1 Estabelecimento da Necessidade
- 1.2 Formulação do Projeto: especificações técnicas
- 1.3 Síntese de Soluções
- 1.4 Exequibilidade Física
- 1.5 Valor Econômico: viabilidade econ. p/ o fabricante e p/ o comprador
- 1.6 Viabilidade Financeira
- 1.7 Conclusão

2. PROJETO BÁSICO

- 2.1 Escolha da Melhor Solução
- 2.2 Modelagem do Projeto
- 2.3 Ensaios de Modelos Analógico - Funcionais
- 2.4 Análise de Sensibilidade
- 2.5 Análise de Compatibilidade
- 2.6 Análise de Estabilidade
- 2.7 Otimização Formal
- 2.8 Simplificação do Projeto
- 2.9 Previsões para o futuro e Tempo de funcionamento
- 2.10 Conclusão

3. PROJETO EXECUTIVO

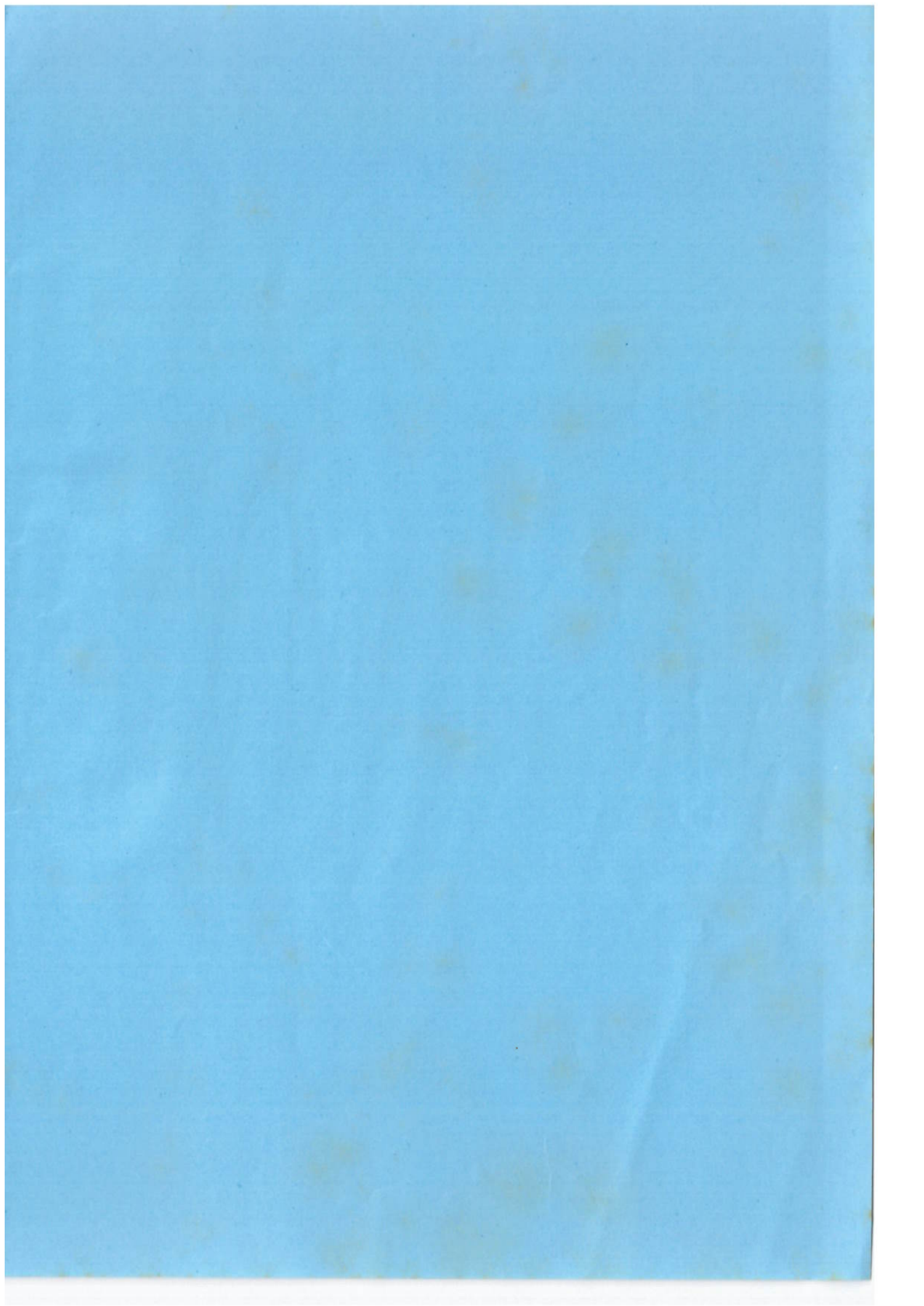
- 3.1 Planejamento do Projeto Executivo
- 3.2 Proj dos Conjuntos
- 3.3 Proj dos Componentes
- 3.4 Projeto Detalhado das Peças
- 3.5 Preparação dos Desenhos de Montagem
- 3.6 Construção Experimental dos Protótipos
- 3.7 Programa de Ensaios
- 3.8 Análise e Certificação
- 3.9 Aperfeiçoamento e Reprojecto
- 3.10 Análise do Valor

4. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

5. PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ou DA MONTAGEM DA INSTALAÇÃO

6. PLANEJAMENTO DO CONSUMO ou DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO

7. PLANEJAMENTO DO ABANDONO DO PRODUTO ou DO PROJETO





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1893 - 1993 TRADIÇÃO E MODERNIDADE

Hovercraft: Desenvolvimento de um Veículo **Todo Terreno e Plena Manobrabilidade**

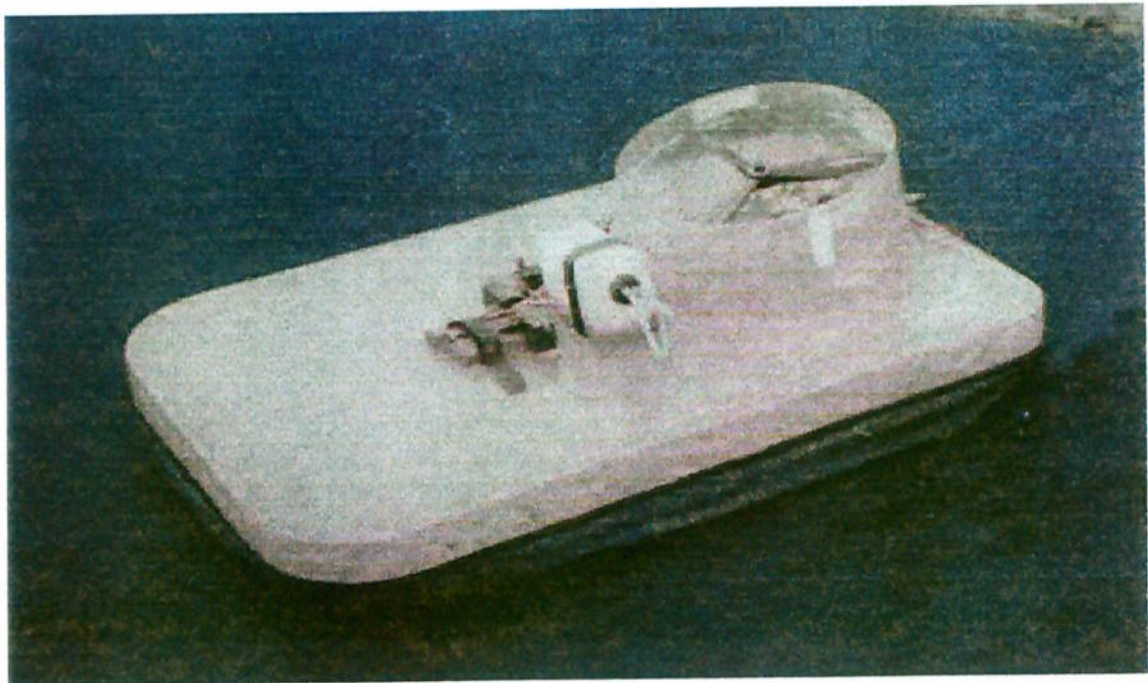
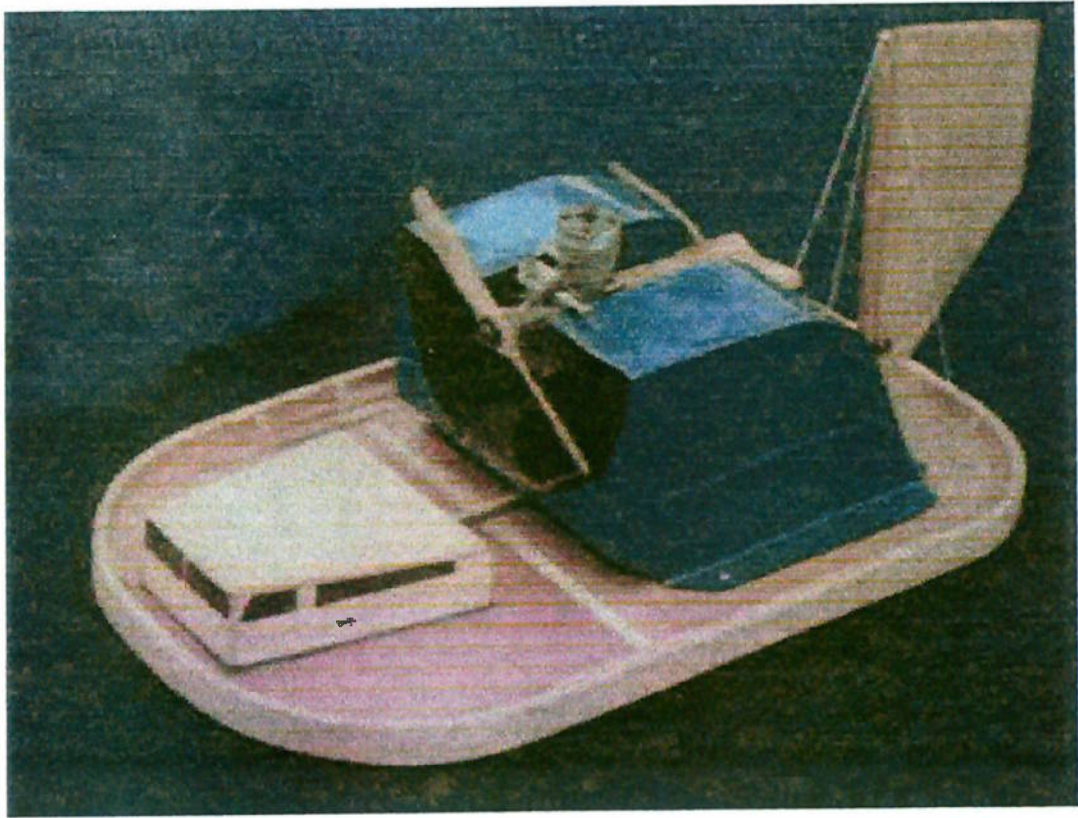
Estudo de Viabilidade

julho 1996

Professor Orientador: Saburo Ikeda

Autores: Egidio Guelpa
Marcos Nogueira





*Este projeto é dedicado aos meus PAIS, que silenciosamente
tanto fizeram para o sucesso deste curso.*

Índice

1. ESTUDO DE VIABILIDADE

1.1	Estabelecimento da Necessidade	1
1.2	Formulação do Projeto: especificações técnicas	2
1.3	Síntese das Soluções	3
1.4	Exequibilidade Física	13
1.5	Valor Econômico	16
1.6	Viabilidade Financeira	20
1.7	Conclusão	20
1.8	Anexo 1: o hovercraft pelo mundo	21

1. Estudo de Viabilidade

1.1. Estabelecimento da Necessidade

A observação do mercado mundial dos meios de transporte, nos mostra que existe um montante financeiro de alguns trilhões de dólares, e um público de muitas centenas de milhões de pessoas envolvidas neste meio, no que envolve estudos, desenvolvimento, consumo, fornecimento, manutenção e reciclagem. Sendo assim, é um mercado que tal como o de comunicações, é cada vez mais competitivo, e ao mesmo tempo cada vez mais promissor graças ao seu crescimento ligado à sua presença constante na vida de praticamente todos os seres humanos.

A busca de soluções ideais para os meios de transporte envolvem vários aspectos tais como o desempenho, a versatilidade, a utilidade, o conforto, a estética, o status social, o prazer do usuário, o lazer, e a segurança entre outros.

Trataremos neste estudo, de buscar soluções para um aspecto que nos dias de hoje ainda peca pela falta de opções: a versatilidade. Não se encontra presente no cotidiano das pessoas um equipamento que as possibilite se locomoverem através de QUALQUER tipo de terreno (aquático ou terrestre) com eficiência. Existem sim, veículos que oferecem excelente eficácia em determinado terreno. Porém, quando este se tem necessidade de se locomover em um terreno, e passar deste para um com características completamente distintas (praia/mar, campo/lago, campo/represa, campo/charco ou pântano), deve-se trocar de veículo. Ou quando as características do terreno são sujeitas a transformações (cidade/enchente, campo/enchente), os veículos convencionais se tornam inúteis. E existem terrenos que simplesmente nos dias de hoje são intransponíveis pelo solo: pântanos com vegetação alta.

Outro aspecto que é bastante polêmico e atrai muitos estudos é a potência. Um veículo com certa potência seria capaz de aumentar sua velocidade continuamente caso as forças resistivas (atritos dos mecanismos do veículo, a resistência do veículo com o ar, e a resistência do veículo com o solo) não fossem aumentando proporcionalmente com a sua velocidade. Quando estas forças se igualam à força que o veículo tem para se deslocar, se determina a sua velocidade máxima. Hoje, para se aumentar esta velocidade, se aumenta a potência dos propulsores, se otimiza o coeficiente de penetrabilidade aerodinâmica. Uma solução pouco explorada é a redução dos atritos do veículo com o solo.

Assim, **o objetivo** deste estudo, é o **desenvolvimento da plataforma de um veículo para todo terreno, com plena manobrabilidade, e com boa performance seja para o uso pessoal/esportivo, seja para o uso comercial, com um custo acessível ao consumidor.**

Este veículo teria como público alvo as forças armadas (em operações de desembarque em praias, tráfego em terrenos difíceis e terrenos variantes), a defesa civil (em operações de resgate em enchentes ou locais de difícil acesso), agricultores de regiões castigadas pela cheia (Pantanal), todo público ligado ao mar em suas aplicações (pesca, transporte, etc, podendo sair do mar sem deixar o veículo), e adeptos do lazer.

O custo do veículo ao consumidor deve estar na faixa dos veículos equivalentes em cada terreno, podendo apresentar um aumento de até 30%, o que se justifica pela sua versatilidade.

1.2. Formulação do Projeto: especificação técnica

entradas desejáveis:

- combustível
- lubrificantes
- comandos do operador
- bagagem dos ocupantes
(mesmo líquida, não deve comprometer o espaço do veículo)
- carga de transporte

saídas desejáveis:

Funcionais:

- trafegabilidade em terra, água, areia, gelo, charcos, e vegetação flexível de até 2m
- aceleração de 0-70km/h em: - 15s (versão pessoal)
- 30s (versão comercial)
- velocidade máxima: - 120 km/h em terreno liso e plano (versão pessoal)
- 70 km/h em terreno liso e plano (versão comercial)
- frenagem em 50 m (a 70km/h)
- conforto aos ocupantes
- nível de ruído: 60 dB em ordem de marcha
- estabilidade em curvas (pouco roll)
- deslocamento linear para frente, para trás e para os lados
- rotação em torno do próprio eixo

Operacionais:

- plataforma que permita adaptação de diversas carrocerias
- autonomia: 200 km
- status dos equipamentos ao operador

Construtivas:

- dimensões: 1,8x4,5m
- transporte do conteúdo: - até 300 litros de bagagem e 4 ocupantes (versão pessoal)
- até 1000kg de carga e 2 ocupantes (versão comercial)

entradas indesejáveis:

- choques mecânicos frontais, traseiros e laterais a velocidades superiores a 10km/h
- comandos inadequados do operador

saídas indesejáveis:

- nível de ruído no cockpit superior a 80 dB
- excesso de vento nos ocupantes
- danos físicos aos ocupantes

1.3. Síntese das Soluções

Para atingir o objetivo mais complexo, que é tornar o veículo anfíbio, existem duas opções radicalmente distintas:

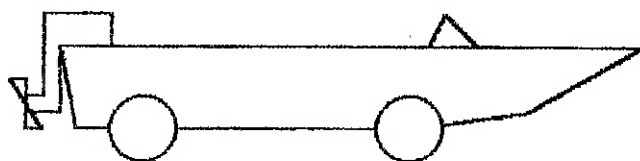
- I. barco adaptado
- II. veículo a colchão de ar

A seguir serão apresentadas todas as soluções alternativas duas concepções:

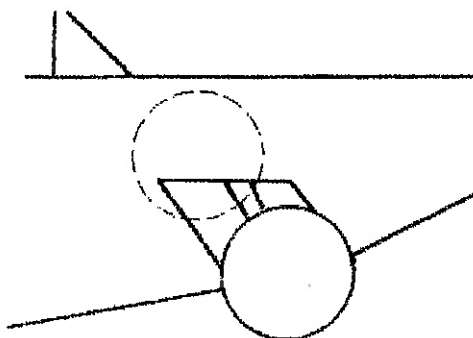
I. Barco Adaptado com Rodas:

I.A. Conformação das rodas

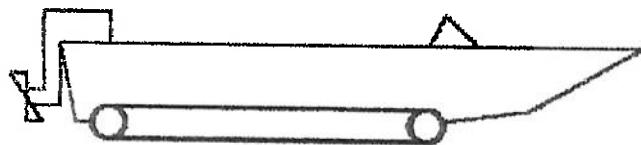
a. rodas simples:



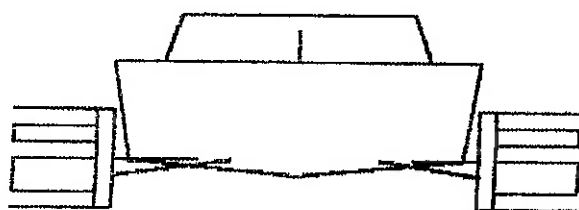
b. rodas retrateis:



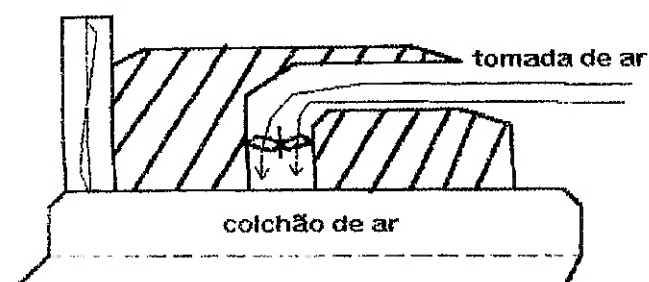
c. rodas com esteiras:



d. rodas com pás:

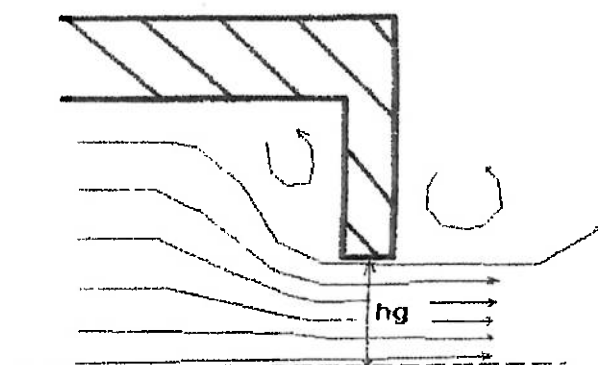


II. Veículo a colchão de ar:

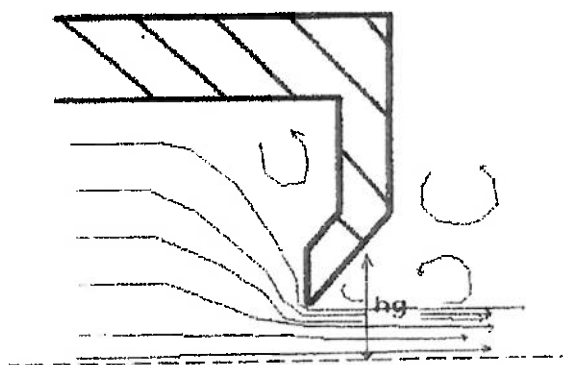


II.A. Tipos de colchão de ar:

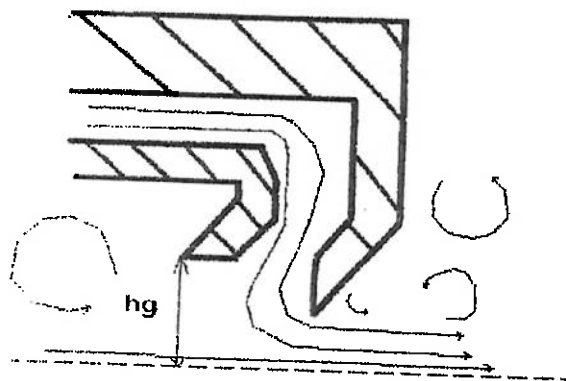
a. câmara aberta:



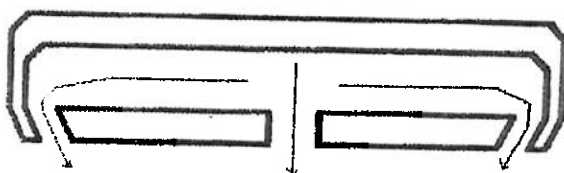
b. câmara aberta com aleta:



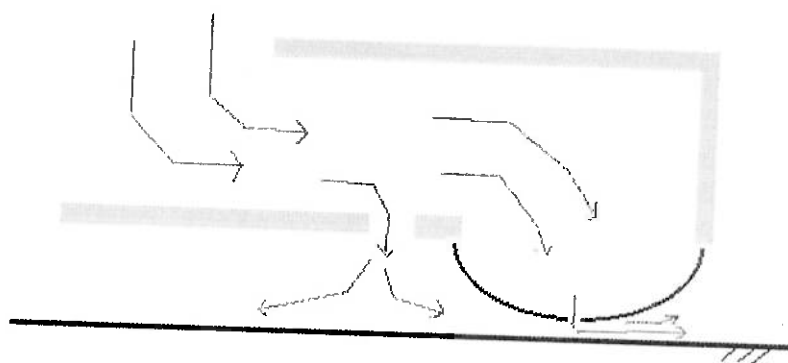
c. câmara com jato de ar:



d. câmara com jato de ar e saída central:

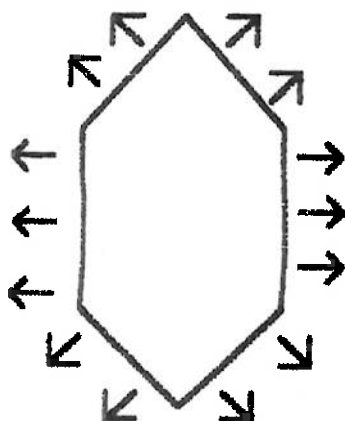


e. câmara com jato de ar e saia insuflada:

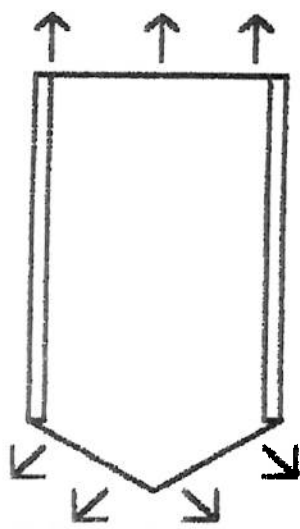


II.B. Direções das saídas de ar:

a. saídas por todo perímetro:

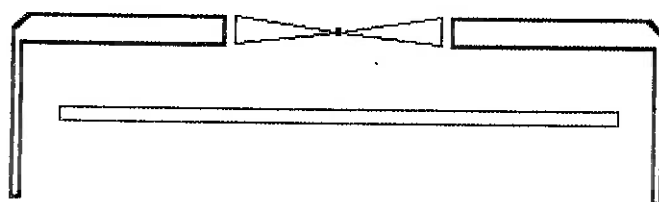


b. saídas pelos extremos:

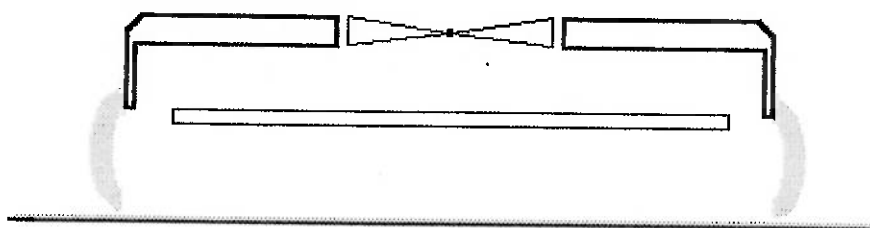


II.C. Tipo de saia:

a. saia rígida

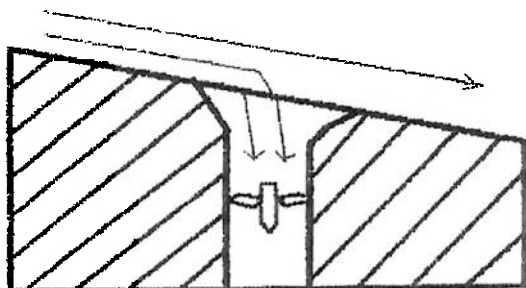


b. saia flexível

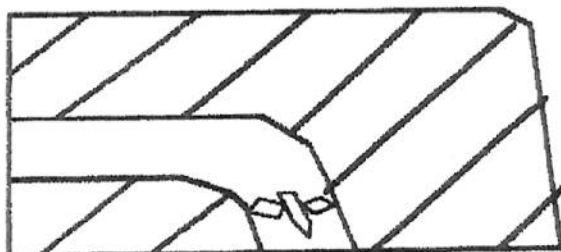


II.D. Direção da entrada de ar:

a. perpendicular ao fluxo:



b. paralela ao fluxo:



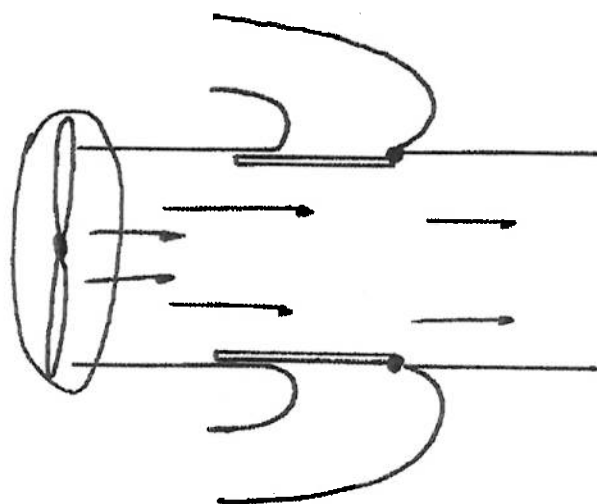
c. oblíqua ao fluxo: intermediária às duas anteriores

II.E. Motorização:

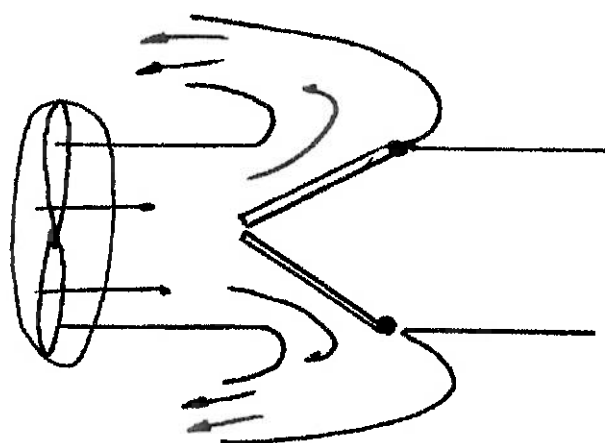
- a. Um motor elétrico (propulsão e sustentação)
- b. Dois motores elétricos (propulsão / sustentação)
- c. Um motor elétrico e Um motor à explosão (sustentação / propulsão)
- d. Dois motores à explosão (propulsão / sustentação)
- e. Um motor à explosão (propulsão e sustentação)

II.F. Dispositivo de frenagem:

a. defletor reversor do fluxo de propulsão

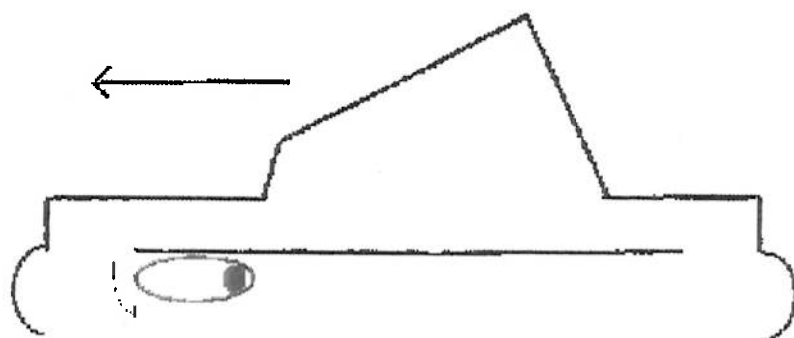


sem frear



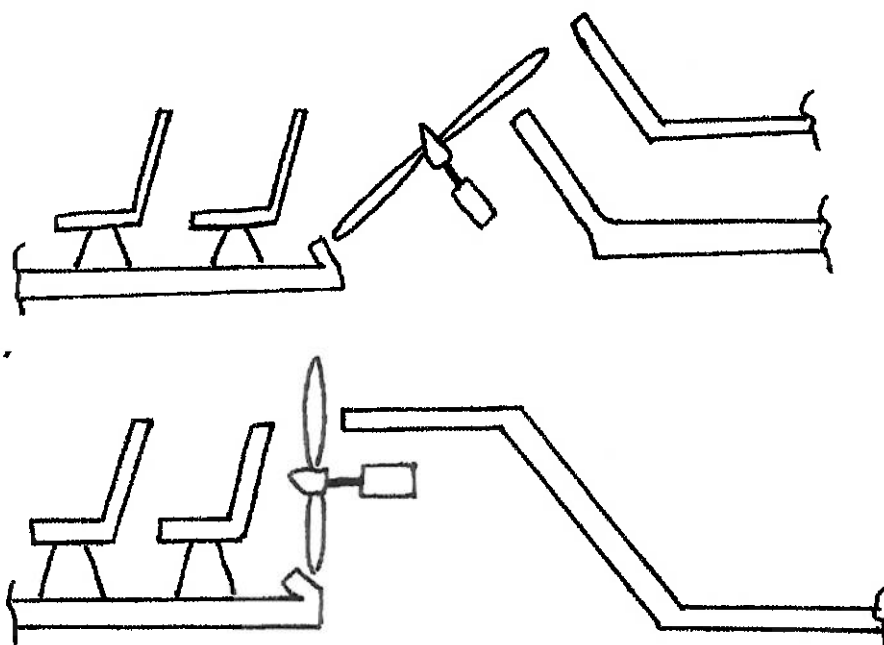
freando

b. came de atrito com o solo

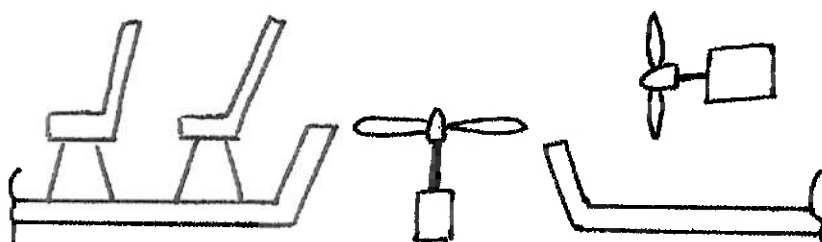


II.G. Relação entre fluxo de propulsão e fluxo de sustentação:

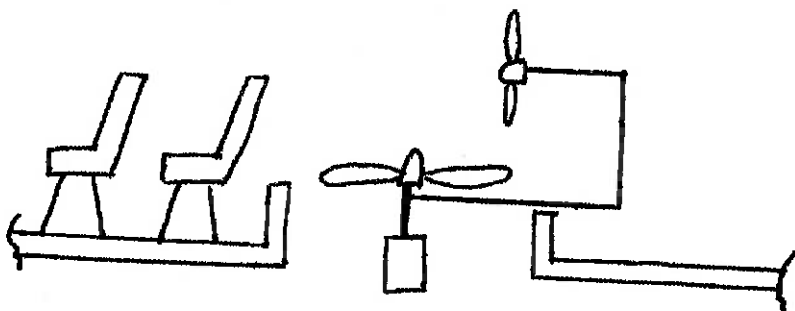
a. relação fixa



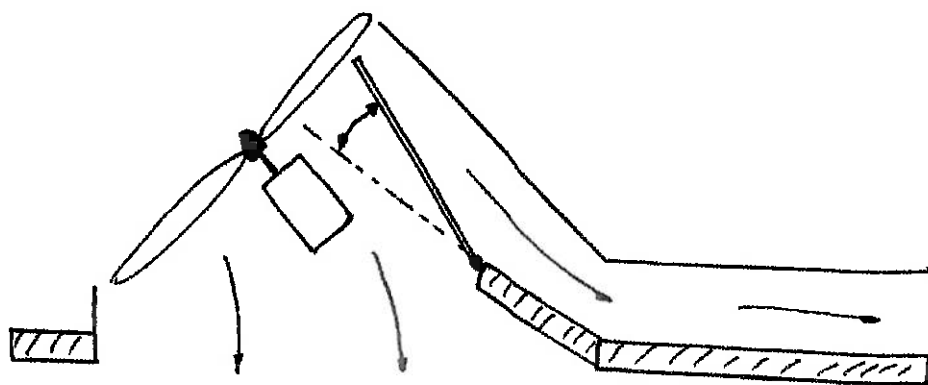
b. relação variável pela aceleração independente dos motores (caso de dois motores)



c. relação variável por caixa de engrenagem (caso de um motor e duas hélices)

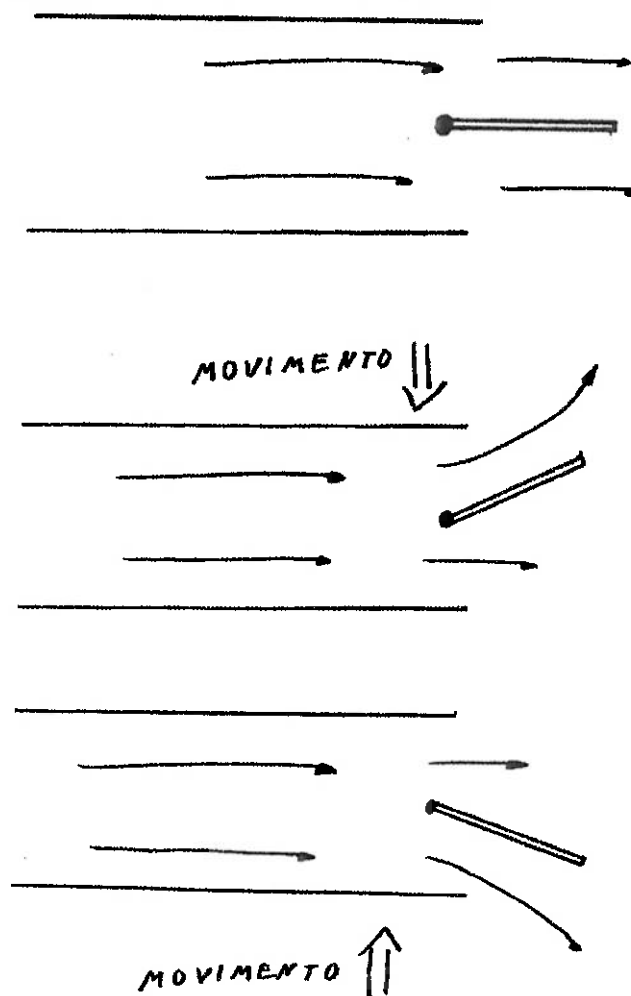


d. relação variável por defletor de fluxo de sustentação / propulsão (um motor e uma hélice)



II.H. Dispositivo de manobra:

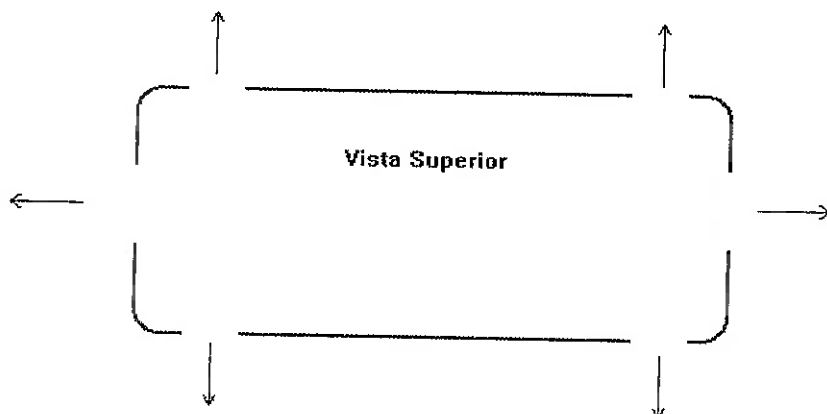
a. lemes



b. hélices com pás de passo variável

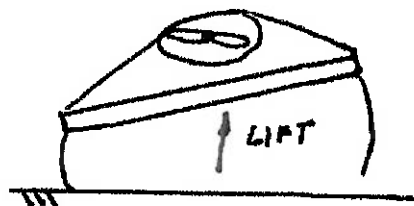
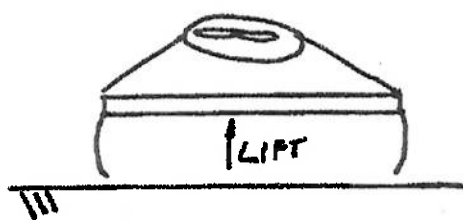
c. hélices direcionáveis

d. jatos de ar

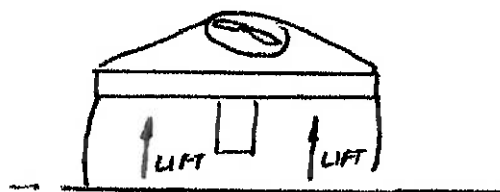
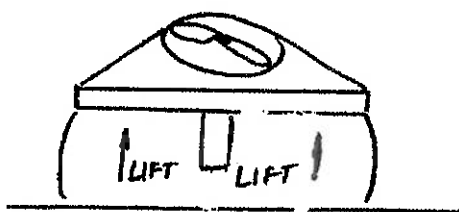


II.I. Dispositivo de estabilidade ao roll (*):

a. sem divisor longitudinal do colchão de ar



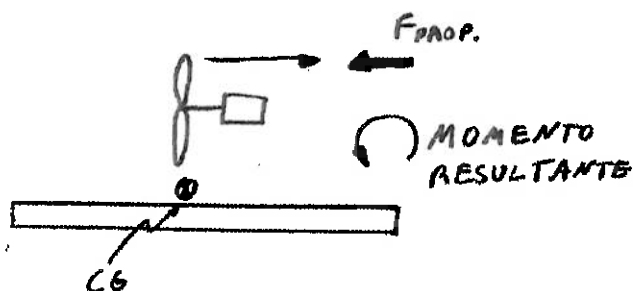
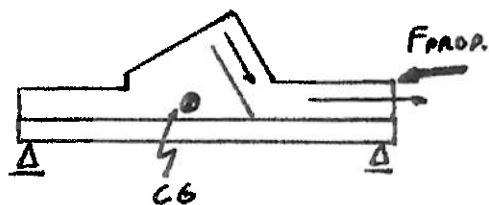
b. com divisor longitudinal do colchão de ar



II.J. Dispositivo de estabilidade ao pitch (**):

a. sem uso de profundores (***)

b. com uso de profundores



(*) roll: movimento de giro em torno do eixo longitudinal ao deslocamento normal do veículo

(**) pitch: movimento de giro em torno do eixo transversal ao deslocamento normal do veículo

(***) profundores: nome dado à superfície móvel que por efeito aerodinâmico controla o pitch

1.4. Exequibilidade Física

As alternativas levantadas no item anterior devem estar embasadas na realidade da engenharia atual, no tocante às leis físicas, aos materiais disponíveis, à compatibilidade das dimensões físicas no conjunto e ao custo. A seguir, estão expostas as análises de cada item.

I. Barco Adaptado com Rodas: todas as soluções deste bloco tem o inconveniente de alto arrasto em meios aquáticos, com excessão da solução I.A.b.

I.A. Conformação das rodas

a. rodas simples: construção fácil; desempenho questionável (dificuldade de locomoção em pântanos, alto arrasto, fácil adaptação)

b. rodas retráteis: mecanismo complexo; melhoria no desempenho aquático (baixo arrasto), porém mudança de meio não pode ser instantânea.

c. rodas com esteiras: custo superior ao item a. , excesso de articulações metálicas tornando a manutenção um ponto crítico, uma vez que será um veículo anfíbio; melhorias no desempenho (mudança do meio instantânea, flexibilidade alta em terrenos diversos) e comprometimentos (alto arrasto, baixa velocidade em terra).

d. rodas com pás: exclui a necessidade de motor de popa; excesso de momento de inércia; desempenho questionável (baixa eficiência na água, perigo a ocupantes e transeuntes em terra)

II. Veículo a colchão de ar: para um estudo prévio realista do emprego de materiais, proporção entre dimensões, peso/potência, e observação das reações dinâmicas do veículo, se fez necessária a construção de um modelo.

II.A. Tipos de colchão de ar:

a. *câmara aberta*: baixo custo; fácil construção devido à sua estrutura simples; os dutos de entrada de ar são simples; toda área plana está disponível para formar o colchão de ar (permite baixas pressões); gap(*) é pequeno; necessita de tubulações de ar de grande diâmetro.

b. *câmara aberta com aleta*: intermediária entre a. e c.

c. *câmara com jato de ar*: permite um gap grande; permite tubulações de menores dimensões (menor diâmetro), porém acarreta altas velocidades de fluxo, podendo ocasionar vibrações e ruídos; necessita de pressões maiores no ventilador; dificuldade de construção com o aumento estrutural e consequentemente de peso e custo; perda de área útil de colchão de ar (bordas).

d. *câmara com jato de ar e saída central*: mesmas características de c., oferecendo talvez vantagens dinâmicas.

e. *câmara com jato de ar e saída insuflada*: mesmas características de c., oferecendo vantagens em relação à sustentação e desempenho dinâmico.

(*) gap: fresta de saída do ar por baixo do colchão.

II.B. Direções das saídas de ar:

a. saídas por-todo perímetro: proporciona boa estabilidade; essencial ao meio terrestre; necessita de grande fluxo de ar; construção mais complexa e de maior custo.

b. saídas pelos extremos: usada somente em meio aquático, já que as laterais são rígidas; construção simples e barata.

II.C. Tipo de saia:

a. saia rígida: gap constante; frágil a impactos, fácil construção. Material: fibra de vidro.

b. saia flexível: imune a impactos; construção mais difícil; intervalo de flutuação variável; perda momentânea de fluxo. Material: lona.

II.D. Direção da entrada de ar:

a. perpendicular ao fluxo: possibilita a entrada de ar em curvas; maior dificuldade de entrada de fluxo; maior turbulência.

b. paralela ao fluxo: facilidade de entrada de fluxo; menor turbulência; facilidade de entrada de detritos; dificuldade de entrada de ar em curvas.

c. oblíqua ao fluxo: características intermediárias entre a. e b.

II.E. Motorização:

a. Um motor elétrico (propulsão e sustentação): baixa potência/peso (baterias); baixa autonomia; necessita de divisor de fluxo; não poluente; baixo ruído.

b. Dois motores elétricos (propulsão / sustentação): idem a., com maior custo em motores, porém menor custo estrutural (não necessita de divisor de fluxo).

c. Um motor elétrico e um motor à explosão (sustentação / propulsão): alia a. e e., porém necessita de dois reservatórios de energia (tanque de combustível e baterias, mesmo usando um alternador); não necessita de divisor de fluxo. Proposta de motor à explosão: ciclo Otto automotivo.

d. Dois motores à explosão (propulsão / sustentação): alto custo e peso em motores; talvez excesso de potência; dificuldade de disposição física para os motores; excesso de ruído;

e. Um motor à explosão (propulsão e sustentação): boa potência/peso; necessita de divisor de fluxo;

II.F. Dispositivo de frenagem:

a. defletor reversor do fluxo de propulsão: insere mecanismos que podem ser de difícil disposição; ação demorada;

b. came de atrito com o solo: ação rápida; mecanismos complexos e pesados, uma vez que as forças envolvidas são maiores.

II.G. Relação entre fluxo de propulsão e fluxo de sustentação:

a. relação fixa: construção fácil e barata.

b. relação variável pela aceleração independente dos motores (caso de dois motores): oferece independência importante para manter o gap durante aceleração, e variá-lo se necessário.

c. relação variável por caixa de engrenagem (caso de um motor e duas hélices): idem b., porém com enorme complexidade de mecanismos e aumento de custo.

d. relação variável por defletor de fluxo de sustentação / propulsão (um motor e uma hélice): alia vantagens de a. e b. , porém necessita de mecanismos de difícil disposição física.

II.H. Dispositivo de manobra:

a. lemes: fácil construção; ação eficiente; restringem o fluxo a um campo de 180 graus.

b. hélices com pás de passo variável: permitem reversão do fluxo de ar gerando movimento para trás; devem ser aliadas a a. ou c. para oferecer fluxo de ar em 360 graus; alto custo.

c. hélices direcionáveis: oferecem por si só fluxo em 360 graus; mudança de direção lenta graças ao momento de inércia do motor; deve passar por todas as posições intermediárias entre duas direções de fluxo desejadas (para variar de uma para a outra).

d. jatos de ar: rapidez de ação a estudar; eficiente mudança de direção de fluxo; exige estruturas complexas, ~~pesadas e de alto custo.~~

II.I. Dispositivo de estabilidade ao roll:

a. sem divisor longitudinal do colchão de ar: sem eficácia; baixo custo; simplicidade de construção.

b. com divisor longitudinal do colchão de ar: eficácia a estudar; baixo custo; simplicidade de construção.

II.J. Dispositivo de estabilidade ao pitch:

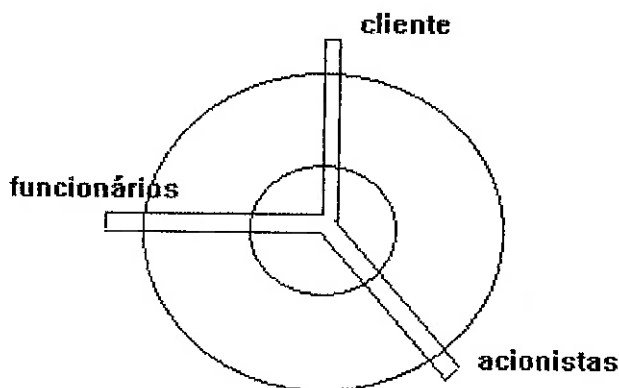
a. sem uso de profundores: sem eficácia; baixo custo; simplicidade de construção.

b. com uso de profundores: ação importante à compensação da distribuição de peso; necessita de mecanismos de difícil disposição física.

1.5. Valor Econômico

Será feito agora um estudo de custos, para que este seja confrontado com um estudo de mercado. Daí, poder-se-ia prever um preço aproximado e consequente margem de lucro. Porém, se faz necessário um estudo prévio, breve mas atento, de como se pode compor o preço de um produto.

Toda entidade deve ter sua razão de existir baseada na lógica do prazer. Prazer que inclui todos os setores envolvidos, e em focos diversos (pessoal, financeiro, etc). A família é uma entidade, um produto é uma entidade, e uma empresa é uma entidade, que deve dar prazer aos acionistas, aos funcionários, e aos seus clientes.



Os raios sendo preenchidos a partir do centro, significam a satisfação crescente do respectivo componente. Para que haja sucesso do conjunto, todos os raios devem crescer por igual, estabelecendo divisas concêntricas e crescentes.

Um produto que esta empresa venha a produzir, trará a ela seu lucro, que geralmente é calculado como a seguir:

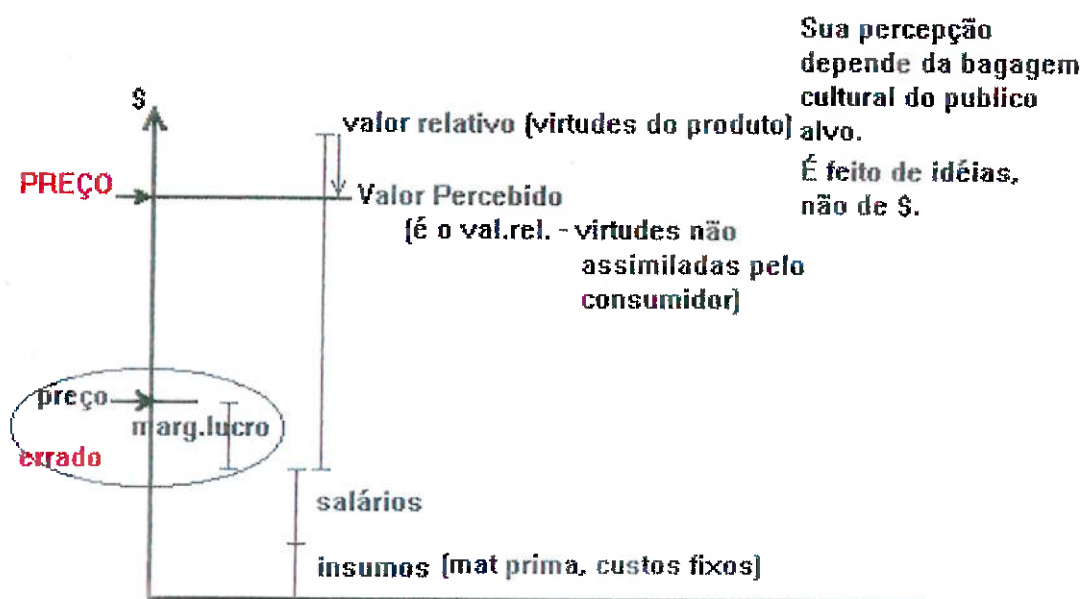
$$\text{Lucro} = \text{Preço} - (\text{MDO} + \text{mat. prima})$$

Linha de pensamento que geralmente é seguida:

- deseja-se que o lucro suba
- não é interessante que o preço suba
- o custo da matéria prima é constante
- logo a MãoDeObra deve baixar

E assim é feito, ferindo o chart acima ao restringir o crescimento do raio dos funcionários.

Uma maneira inteligente de equilibrar esta situação se descreve a seguir:



Existe o custo dos insumos e o custo de salários justos que satisfaçam os funcionários (aí estão embutidos todos os benefícios que geram satisfação do funcionário). A margem de lucro que define o preço circulado, segue o pensamento errôneo descrito na página anterior. A alternativa é agregar o máximo de atributos (desejados pelo cliente ou estimados a serem desejados) ao produto de forma que este tenha para o fabricante um valor relativo bastante alto. Algo que realmente se destaca no meio comercial. Trata-se então de divulgar este valor ao público desejado, para que este veja no produto tudo que o fabricante vê, e o produto se torne então fatalmente um bem adquirido. Porém o que ocorre é que nunca todas as virtudes do produto conseguem ser passadas ao público com um rendimento de 100%, o que leva o valor relativo ao patamar indicado por VALOR PERCEBIDO, que é aquele realmente percebido e assimilado pelo cliente. Estabelece-se aí o preço. Nota-se que não se trata de inventar características não verdadeiras do produto, mas sim divulgar aquilo que foi agregado ao produto com perspicácia, sensibilidade e criatividade. Nota-se também que este preço pode estar em um nível bem acima daquele circulado, uma vez que a filosofia utilizada para a criação do produto foi outra.

Assim, para aumentar o lucro, deve-se aumentar o valor percebido pelos consumidores, o que não implica necessariamente em maiores gastos, mas sim em maior talento no projeto e fabricação! É o que este estudo buscará.

1.5.1. Viabilidade econômica para o fabricante:

- Investimentos totais: no projeto: engenharia, protótipos, divulgação, etc
na fabricação: instalações, máquinas, transporte

	Preço/unidade	Total
Projeto de engenharia	50/h	25000
Protótipos e testes	10000	20000
Transporte (carro utilitário)	10000	10000
Ferramental	5000	5000
Formas	1000	3000

		68000

- Custos Fixos de Fabricação: custos para manter a fábrica, mesmo com produção zero (impostos, seguros, etc)

	Preço/unidade	Total
Aluguel galpão	1500/mês	1500
Água, telefone (2 linhas)	800	800
Luz (potência elétrica instalada)	500	500
Impostos (ISS, COFINS, ICMS, IPI)	5000	5000
Seguro	150	150
Limpeza (faxineiras & mat. limpeza)	800	800
1 engenheiro (coordenador)	2000	2000
1 secretária	600	600
5 montadores	800	4000
1 almoxarife	600	600
Propaganda	10000	10000

		25950

- Custos Variáveis da Fabricação: material, pessoal, energia

	Preço/unidade	Total
Manta fibra(tecido e picada)8.1 m2/hover	20 m ²	972
Resina & catalizador 40 Kg	7	280
Estrutura metálica(suporte motor e chassis)	2/kg	60
Motor (70hp)	1000	1000
Solda	10	20
Parafusos	-	20
Tanque combust. (70L)	80	80
Hélice	100	100
4 bancos	60	240
Mat. pintura	150	150
instrumentação elétrica	300	300
saia	40	40

		3262

Baseado nos resultados obtidos pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O valor total para iniciar a fabricação do hovercraft modelo básico está em torno de R\$ 95000.00
- O valor do empréstimo a ser realizado deve levar em conta imprevistos, portanto este valor subiria para R\$100000.00
- A capacidade de montagem da fábrica devido ao número de funcionários e espaço físico está em torno de 5 hovers/semana. Gerando assim um gasto com custo variável mensal de R\$65240.00. Portanto um gasto total da fábrica só para produzir, excluindo o gasto inicial com a compra do carro e ferramental, de R\$ 91190.00
- Tendo em vista que serão produzidos 20 hovers por mês o preço inicial está em torno de R\$4559.50 por unidade; deve-se ainda pagar os juros do financiamento e o valor do investimento inicial.
- O investimento inicial amortizado em 5 anos daria um custo de R\$1133.00 por mês, o que significa R\$56.00 por veículo montado.
- Este preço inicial deve cair dependendo do sucesso das vendas e possível ampliação da fábrica.

1.5.2. Valor Econômico para o comprador ou usuário:

Haja visto tudo o que foi passado sobre as virtudes do hovercraft tanto no campo esportivo quanto no utilitário, podemos notar o nosso valor relativo. Este valor terá um decréscimo no ato de passar as virtudes ao público (graças ao rendimento da passagem de informação), atingindo então o valor percebido.

Observando o mercado, temos lanchas para 4 passageiros a R\$25000.00, carros para 4 passageiros de R\$12000.00 a 25000.00. A versatilidade e o superior apelo tecnológico que o hovercraft proporciona o destacam destes dois veículos citados. Entretanto queremos que o preço seja acessível. Assim, um valor de venda inicialmente proposto é R\$17000.00 variando de acordo com a aplicação e acabamento.

1.6. Viabilidade Financeira

Como visto, existe um montante financeiro respeitável a ser investido no início do projeto. Não existindo recursos próprios para cobrir o montante do investimento, existe a possibilidade de um financiamento bancário. No Brasil atual, isto é inadmissível, uma vez que se encontra taxas de juros de 6% ao mês. Porém, após pesquisa minuciosa, foi encontrado um financiamento pelo Banco dela Nación Argentina que oferece juros de 1% ao mês (viabilizado em aplicações na bolsa de NY), pagáveis em até 36 meses. Este plano de financiamento exige que parte do investimento seja feito com produto argentino, o que é possível e até interessante no fornecimento de materiais para construção do projeto, que podem ser encontrados com preços atraentes na Argentina e importados com o privilégio das taxas zero no Mercosul.

Deve-se contar também com um estudo de fornecedores para peças fundidas, estampadas, usinadas, injetadas e até moldadas em fibra. Terceirizando estes fornecimentos obtém-se uma redução de custo de equipamentos, manutenção e estoque, bastante significativa.

Fica assim viável financeiramente o start do projeto.

1.7. Conclusão

Ao longo do estudo de viabilidade, foram notadas as possibilidades que um hovercraft traz, e um questionamento se fez presente: se as vantagens são tantas, por que este veículo nunca teve presença de vulto no Brasil? O hovercraft é um veículo relativamente novo (inventado na década de 50), e talvez por isso pouco conhecido e estudado. Verdade? Não. Ao redor do mundo e nas mais diversas aplicações, o hovercraft é bastante explorado, principalmente no ramo do lazer, como nos mostra o **APÊNDICE 1**. O caso do Brasil poderia ser explicado então pela carência de recursos da população. Outra inverdade. Como se explicaria então o incrível infestamento dos Jet Skis? E os fabulosos lucros que seus fabricantes e representantes tiveram após um excelente marketing que levou o valor percebido daquela maquininha à estratosfera? É um público restrito sim, mas crescente. Observa-se pelo crescimento da indústria automobilística em 30% nos últimos 3 anos!

Conclui-se então que o Brasil ainda não teve a OPORTUNIDADE de dispor do hovercraft, e isso pode se tornar realidade ao fim deste estudo.

APÊNDICE 1

The Hovercraft Homepage



This page has been moved to a server that allows only 2 Megs of data. Unfortunately, that means that I had to cut some things out. Also, being that it's summer now, I won't be spending much time updating this page (as most of you have probably noticed) with the exception of the visitor's page and the swap page. I'll resume modifications this fall when the weather doesn't permit me to go sailing, camping, hiking, or any other outdoor activity. In the meantime, I highly recommend the World Hovercraft News as an alternative site to visit which is (in my humble opinion) the best hovercraft site on the net.

For those of you that don't know what a hovercraft is, how it works, or how to drive one, you should click [here](#) to read an excellent page created by WHN.

View [pictures](#) and stats of hovercraft submitted by visitors to the page.

Buy and Sell via the [HOVERCRAFT SWAP PAGE!](#)

Have a question about hovercraft?



Try the [Hovercraft Design Calculator](#) I'm working on. Sorry, your browser must support Java (like Netscape 2.0 or later).

THE MANY USES OF HOVERCRAFT

OR

'Cool Hovercraft Pictures'



[RECREATIONAL](#) | [SPECIAL PURPOSE](#) | [MILITARY](#) | [RESCUE](#) | [COMMERCIAL](#)
 1.6 1.7 1.8 1.9 1.10

LINKS



The World Hovercraft News (WHN) of Australia Homepage.

4.1.1



The Hoverclub of Great Britain Homepage.



Get your hovercraft plans at Universal Hovercraft!



The Hovercraft Club of Canada Homepage.



More links from around the world.

That? Still haven't had enough!? Oh, I get it... you MUST be a Hover-Junkie!

You're visitor number 1533 since the big move.
[Click](#) to my home page.

How it works.....

The hovercraft is in real terms a very simple machine in concept and relatively simple in reality, provided a few simple criteria are followed. The ability to travel over most level surfaces supported only on a cushion of air is reminiscent of the fabled magic carpet.

The Hovercraft as it is today, was developed by an Englishman, Sir Christopher Cockerell in the mid fifties and in the ongoing period to the present time has received some very intensive development around the World. The basic idea is to pump, by whatever means, a large and continuous amount of air under a craft to achieve lift. To be able to effectively use this air some form of retention system must be employed to help retain this air and this device is known as the skirt. Skirt systems generally take one of the following forms e.g. lightweight flexible multi celled segments or fingers, continuous loop systems or a combination of both being the most commonly employed in current hovercraft.

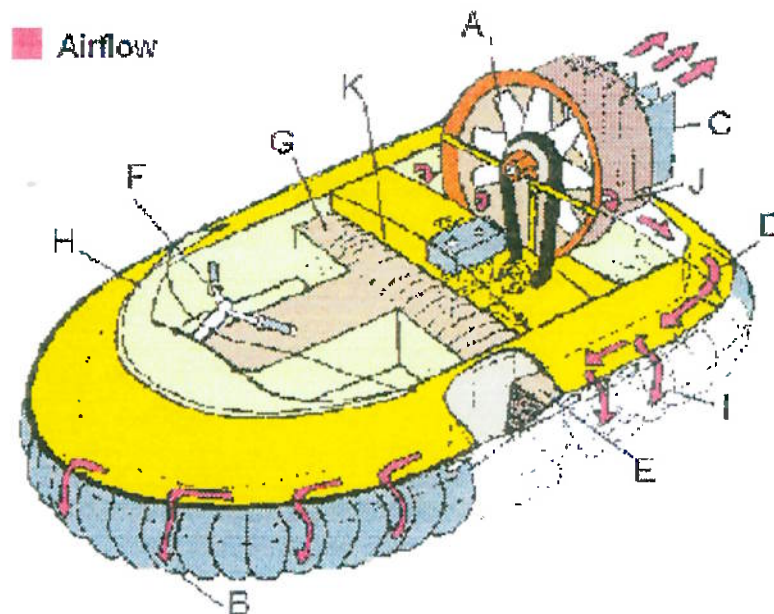
Hovercraft lifting efficiency to a great degree, can be judged against the size of the craft, this being related to the simple fact that the larger the footprint the craft has, the more effectively the total mass of the craft may be spread over a larger area with a resultant lower air cushion pressure being attained. With an efficient skirt design the required engine power required to lift the craft may be reduced for a given size of craft and payload. So with these thoughts in mind, you then need to move the craft and this is done with axial fans, standard aircraft type propellers and even water propulsions type systems, such as propellers and water jets.

The illustration below details a typical amateur built hovercraft of the integrated type and it shows the general basic configuration of probably the most common form of hovercraft design in use around the world today.

Integrated Light Hovercraft

Key:

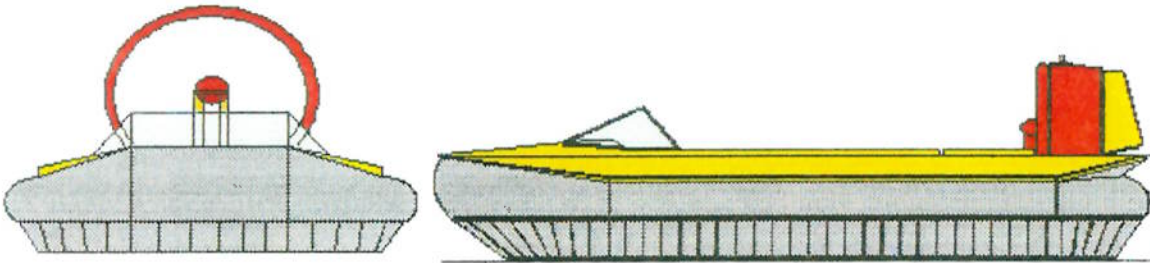
For a more detailed description of each item go to the [Axial Fan](#), [Skirt Segment \(Finger\)](#), [Air Rudders](#), [Plenum Chamber Air Flow](#), [Buoyancy Compartment \(Foam or plastic filled\)](#), [Handlebar Controls with Twist Grip](#), [Throttle](#), [Cockpit Seating](#), [Windscreen](#), [Skirt Feed Holes](#), [Splitter Plate](#) Air Flow, [Fuel Tank position](#)



Driving a Hovercraft - The Basics

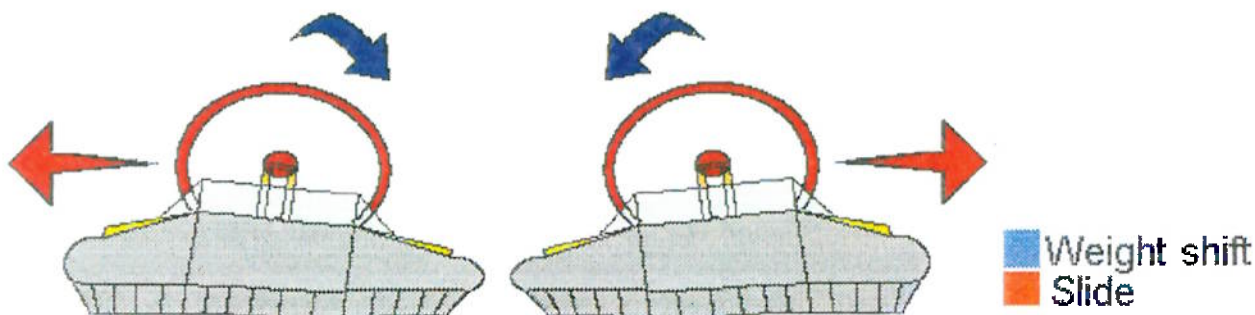
Driving a hovercraft for the first time is for many people a daunting and highly unusual experience. Most hovercraft are controlled by the movement of rudders mounted in the air stream generated by axial fans or propellers and their operation is similar to that of a boat or ship on water. As the majority of the world's hovercraft are classified as 'light hovercraft' and the majority of these craft would be 270kg (600lbs) or less in weight, control is also assisted by the driver's seating arrangement, which is generally of the tandem style (similar to a motorcycle). With the use of 'body english' or weight shift, a hovercraft driver can control the craft to a high degree of accuracy. Through the history of hovercraft development, many 'aids to control' have been tried with varying degrees of success, some of which include 'Puff ports', 'Reverse Thrust Buckets', 'Elevons' and with large craft, such as the English SRN-4s, variable pitch propellers.

Correct hovering Trim



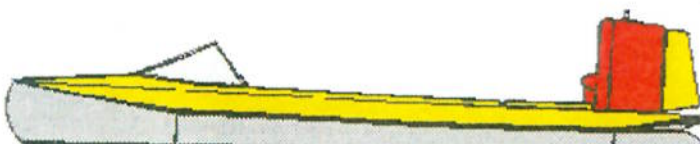
Correct hovering trim is very important to the safe and efficient operation of a hovercraft. With correct trim the drag caused by the skirt contacting the surface is minimised and the engine can perform at its most efficient speed.

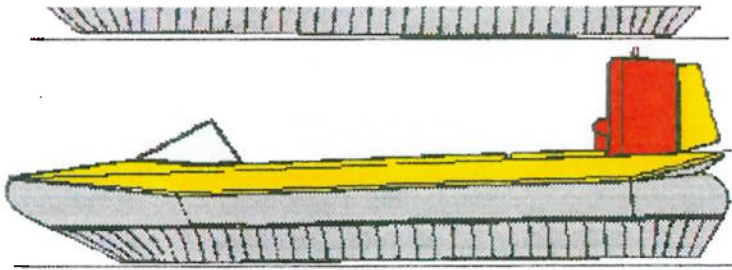
Weight shift to assist turning and counteraction of slides



Turning a hovercraft at any sort of speed, has been likened to driving a car on ice.... but by using a combination of weight shift, opposite rudder input and good throttle control, a slide may be controlled with relative ease, but this basic manoeuvre does require practice to perform competently.

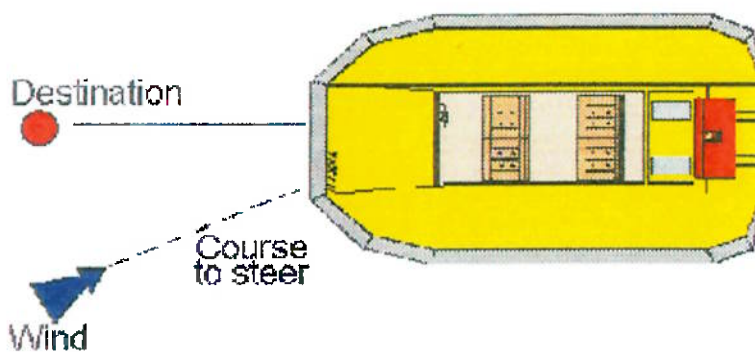
Nose Up Trim & Nose Down Trim





Correct pitch trim is important for safe and efficient hovercraft operation as incorrect pitch trim will cause the skirt to drag on the surface and slow the craft (and wear the skirt) and requiring the engine to work harder. Also with nose down trim, the possibility of 'plow-in' may occur, which may cause injury to the crew and structural damage to the craft. There are times that 'nose up' pitch trim may be used momentarily to assist in clearing obstacles or in transition from water to land across sand ridges and the like. A transition to water down a steep embankment is another example of 'nose up' trim, where the chance of 'plow-in' and hull impact may be lessened by its use.

Cross Wind Control



Because of the lower drag levels of hovercraft and having structural items such as Ducts, Propeller guards and even the crew creating windage, several difficulties arise whilst operating in windy conditions. A major problem occurs when trying to reach a fixed point in cross winds. The items mentioned above act as wind catchers and as well as slowing the craft tend to make the craft 'weather-cock' or have the nose of the craft swing towards the direction the wind is coming from. The diagram shows the the course to steer in order to reach that fixed point and also by using the throttle and varying degrees of weight shift, reasonable headway may be attained.

It is worth noting here that operating a craft 'down-wind' can be a difficult and unnerving episode, as the wind will tend to push the craft to a higher speed and at the same time may push the craft into a nose down attitude, that may result in 'plow-in', and a tailwind can also render steering control difficult, so that as the craft's heading may be changed by steering input, the direction of travel may still be with the wind. Control here is by shifting weight to the rear to help raise the craft's nose and by judicious use of throttle to slow the craft's speed.

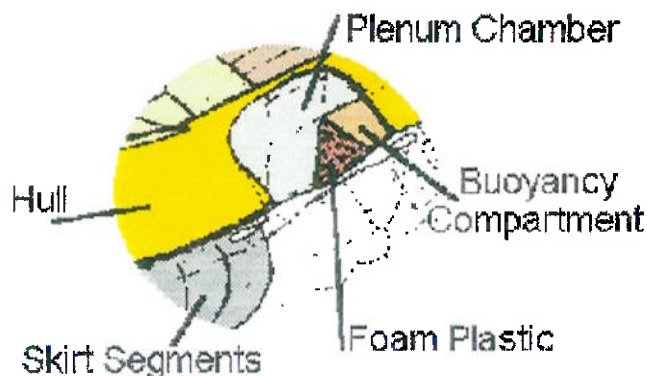
Whatever type or size of hovercraft is used, proficient control competency is only attained by practice and the understanding that other recreational users and the general public as a whole are NOT generally familiar with this unusual form of transport and its ability to traverse many types of surface conditions. It is recommended that you contact the [National Hovercraft Organisation](#) in your country for further information regarding the safe operating procedures for the 'control of Hovercraft.

Glossary of Hovercraft Terminology.

Alphabetical Listing:

Buoyancy:

- It is most important that all hovercraft are fitted with some form of buoyancy capable of supporting the craft whilst fully loaded with its maximum payload, in the event that over water safety is maintained in an emergency.



Duct:

- Shroud type structure surrounding the fan or propeller and designed to increase airflow efficiency and provide some secure form of protection for and against the rotating machinery.



Eleven, Elevator, Trim Wing:

- A structure generally mounted in the airflow from a fan or propeller, or the slipstream of the craft, that is used for pitch trim and occasionally an aid to 'banking' or turning a craft at speed. It can be fixed in position or more commonly is adjustable from the cockpit. These devices operate with varying degrees of success.



Fans:

Axial Fan

- An axial flow device, typically having more than four blades fixed to a common hub. This device is universally the most common form of propulsion and lift device used by the international hovercrafter.



Centrifugal Fan

- A fan where the airflow enters through the central portion of the main body and exits at right angles to entry. Generally these fans are quieter in operation. They have little application as propulsion units due to insufficient pressure, but are excellent as lift fans due to their large volume flow.

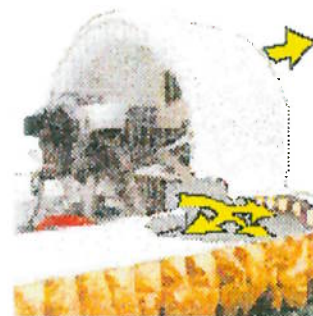


Guards:

- These are fitted to hovercraft ducts and rotating machinery to inhibit the possibility of hands or other objects coming into contact with fans and the like. Typically a steel mesh of 50 mm square (2") is the maximum recommended.

Integrated Lift System:

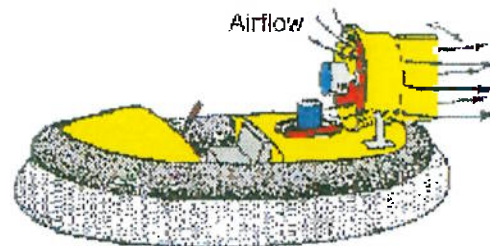
- A system commonly used on sporting craft that utilises the air from a single fan or propeller to obtain both lift and propulsion. Typically, approximately one quarter of the air is split from the main flow and fed through the craft's plenum chamber, then through the skirt feed holes and under the craft to form the air cushion for lift. *see Plenum Chamber*



 Air Flow

Light Hovercraft:

- Craft weighing less than 1000kg are considered to be light hovercraft, and as such in some countries do not attract government regulations that govern commercial sized craft.



Plenum Chamber

- A gallery, typically around the perimeter of a hovercraft, that funnels the lift cushion airflow to the skirt in an even manner. It is normally bounded by the cockpit sides, buoyancy chamber and the top side-decks.

See diagram under Buoyancy:

Puff Ports

- These devices are mounted in varying positions on different craft and are used to aid in slow speed manoeuvres. Some types use the air cushion air and others use separate engines and fans to individually supply air to each port which can be swivelled to various angles including forward to give some



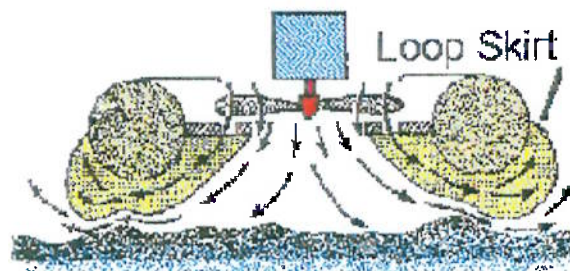
Rudders

- These devices are mounted in the efflux of the axial fan or propeller direct the air to one side or the other and in turn move the stern of the craft in the opposite direction to which they have been turned. This form of control is the most common system used by hovercraft and is usually done by handle bar steering (similar to motorcycles)..



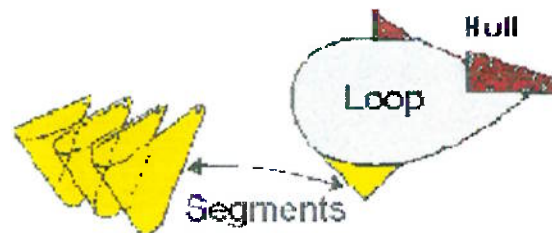
Skirt:

- The skirt around the perimeter of a hovercraft performs an extremely important function in containing the air cushion. By using a skirt, regardless of what type, the amount of engine power required to lift the craft is considerably reduced and as an added benefit, extra hull surface clearance is obtained.



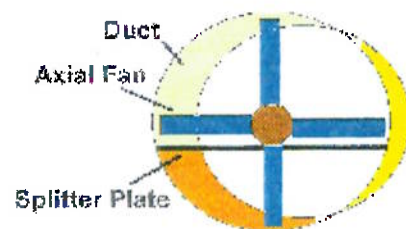
There are three main types of skirt in current use.

- Segmented or Finger** type, where the total skirt is divided into separate small bags typically having one side open towards the underside of the craft.
- Loop** type, which looks similar to an inflatable boat.
- Loop and segment**, a combination of both the above.



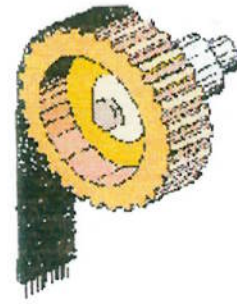
Splitter Plate

- A device that bisects the duct, typically at approximately one quarter diameter to direct the airflow from the fan under the craft to obtain lift. This device is used in single engined hovercraft and the concept is known as an Integrated System.

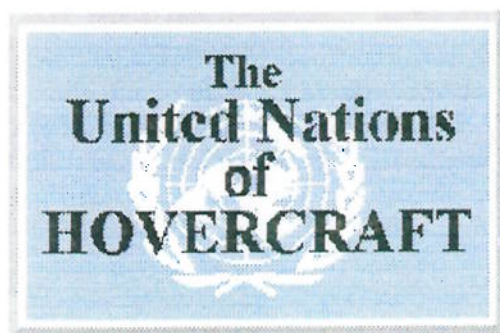


Transmissions:

- The need to match optimum engine performance with optimum fan or propeller rotation speeds, generally requires some form of speed reducing apparatus. This is generally in the form of a belt and pulley system, using lightweight pulleys and flat type timing belts. It is extremely important that the fan or prop **NOT** be rotated at a speed that would cause failure, as this is highly dangerous.



© 1995 [WebEXPRESS](#) ®



International Hovercraft Contacts

This list is of Organisations, that are promoting the Hovercraft as a transport and recreational medium.

Clubs and Associations

1. [World Hovercraft Federation](#)
2. [Australia](#)
3. [South Africa](#)
4. [Belgium](#)
5. [Canada](#)
6. [France](#)
7. [Germany](#)
8. [Great Britain](#)
9. [Holland](#)
10. [Japan](#)
11. [New Zealand](#)
12. [Sweden](#)
13. [United States](#)

Clubs, associations and research groups, that are not commercially orientated, are more than welcome to place their contact points in this section at no charge.

Contact [WebEXPRESS](#) for details.



©1995 [WebEXPRESS®](#)

Picture(s) submitted by visitors to the Hovercraft Homepage.

If You would like to see *your* craft here please [e-mail](#) me a picture of the craft and stats.

This craft was built by [James Perozzo](#), author of '[HOVERCRAFTING AS A HOBBY](#)'.

Check out the [stats](#)



This craft belongs to [Jim Kenney](#). It was manufactured in Cumming, GA during 1988-1989 under the name HoverDynamics. It sports a 36HP Geo Metro 3-cylinder engine. Jim's looking for a Rotax if anybody has one handy.

Check out the [stats](#)



This Turbo 234 SuperWedge was built by [David Galea](#), John Meago, Mario Lopreiato, and Paul Bserani of Melbourne Victoria in Australia. The craft utilizes a 485PE air cooled Yamaha engine which cranks at 51hp and drives a 12 bladed ducted fan. The guy in the picture is John Meago.

Check out the [stats](#)



Ed Covey built this UH-12T3 craft. He has had it operational for about 5 years, and has even done a rescue with it!



Tom Holley submitted this for a friend. The craft is 18 ft. long and 8 ft wide. It uses a 3.8 litre v6 for thrust spinning a 6 ft. prop. Lift is generated by a 20 hp. Honda eng. It seats 5 adults in heated comfort, and is usually used as transport to remote cabins when ice conditions near Halifax N.S. Canada do not permit other modes of transport. It is completely handbuilt and has been clocked at speeds in excess of 60 mph on glare ice. By the way , a new model is just being started now, (guess he's just tired of this one !??)



1.2.6

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.

HOVERCRAFTING AS A HOBBY

IT'S LAST! A generic book on hovercraft and how to build them! This new book (1995) gets to the nitty-gritty of hulls, engines, skirts, and sources of materials. Operation, navigation, and safety are also included. 168 pages and 130 illustrations. The book is approximately 8-1/2" x 11".

Chapter titles are:

- Why should you consider building a hovercraft?
- What will you need to build a hovercraft?
- Designing your own hovercraft
- Building the hovercraft hull
- Building the lift system
- Building the thrust system and painting the craft
- Installing support systems
- Designing and installing the skirts
- Final installation items
- Maiden flight and checkout
- Operating a hovercraft
- Since your craft is legally a boat...

and includes appendices such as:

- Crowley Co. fan specifications
- Basic Programs for hovercraft design
- Hovercraft electrical systems
- Steel tubing sizes available
- Hovercraft design worksheet
- Typical Briggs & Stratton HP Curves
- Sample hovercraft operations log
- A manometer scale

As you can probably tell, the book is NOT about building a particular craft, nor is it part of a kit to build one. Rather, it explains what hovercraft are, how they work, and in detail how you can build your own, from your own ideas. Step-by-step calculations are explained, plus the necessary tables and graphs. The actual craft you build may indeed be a kit, and this book will support the construction of any kit. Cautions to be observed and warnings for your safety are included.

Get your copy at the special HOVERPAGE PRICE of just \$35.00 (42.50 Regular.)
Mail check to Twin Peaks Publishing, 30455 Kent-Blk Diamond Rd., Auburn, WA 98092.
Please include \$3.00 for S&H.

all: Rib and Stringer with 1/8" ply and multiple fiberglass layers.

Electrical: 12 volt battery and alternator for starting, instrumentation and lighti

Powerplant: Porche 914 flat 4-cylinder aircooled 4-cycle engine, 1700 CC, 68 HP. E
operates at constant 4500 RPM operationh at cruise speeds.

uel: regular gasoline.

ift and Thrust: Integrated lift system drives 8-bladed 33-1/2" fan operated at con
300 RPM via right-angle drive. Thrust generated by a ducted variable-pitch, revers
3" diameter, 6-bladed fan.

ommunications and Navigation: Multi-channel synthesized VHF marien transceiver for
arine and safety communications. Amateur radio VHF-FM transceiver for personal com
ircraft type magnetic standby compass. 68HC11 microprocessor drives heading holder
ilot.) Optional radar, GPS, and loran installations.

esign Dimensions:

Length: 20'

Width overall: 8' 4".

Skirt depth: 10"

Cushion Area: 149 sq. ft.

ights:

Allup: 2146#.

Empty: 1100#

comodations: 1 Craft Commander, 1 Navigator, 3-4 seated passengers.

erformance: Max speed: 78 MPH Cruise: 60MPH Range at Cruise: 600 miles.

afety: Liferaft, fire extinguisher, life jackets, flares, kick-out windows through
300# reserve bouyancy in foam alone.



Length	13'
Width	7.5'
Height	51"
Max Payload	2 person or 450 lbs.
Fuel Cap.	6 gal.
Fuel Consumption	2 gal/hour
Over Height	6-8"
Pockets	66 Pockets
Blade	9 Blade 28" dia.
Top Speed	35-40 MPH
Gauges	CHT, Tach, Fuel, Elapsed Time Meter, Bilge Pump, all running lights.

So far the only place we have flown in the last five years is on Lake Lanier, just north of Atlanta, (site of the Olympic rowing venue in 1996). It's 10 miles long and has 380 miles of shoreline, so there is no reason to go anywhere else right now. Plus it's 5 miles from my house, and I use the hovercraft to scoot across the lake to the marina where my 26' O'Day sail boat is. But I would like to get it in salt water some time.

JPEG image 528x381 pixels

http://www





Technical Specifications: Turbo 235 Superwedge

DIMENSIONS

LENGTH	3.52m
WIDTH	1.98m
HEIGHT	1.30m
DRY WEIGHT (UNLAIDEN)	180kg
MAX A.U.W.	415kg
PAYLOAD (MAX)	235kg
CUSHION PRESSURE (MAX)	690Pa

PERFORMANCE

OVERHEIGHT	230mm
SPEED - MAX	100KPH
SPEED - CRUISE	50KPH
CLIMBING ABILITY STATIC	1 IN 6
CLIMBING ABILITY DYNAMIC	1 IN 3
CRUISE	70kg
BUOYANCY	420kg
DURANCE STANDARD 20L	2 - 3 HOURS
DURANCE OPTIONAL 60L	6 - 9 HOURS

SKELTON MONOCOQUE, EPOXY RESIN BONDED KEVLAR AND SEALED PLYWOOD

SKIN EXTENDED SEGMENTS, 61 FINGERS, INDIVIDUALLY FED, ANTI-SCOOP ON REAR, NEOPRENE-COATED NYLON

STEERING MULTI AEROFOIL BALANCED RUDDERS CONTROLLED BY MARINE PUSH/PULL CABLE

ENGINE YAMAHA PE485
 TYPE 2 CYLINDER, AIR COOLED, 2 STROKE
 CAPACITY 485cc
 MAX. POWER 51bhp AT 6,500rpm
 FUEL PRE-MIXED 2 STROKE
 IGNITION ELECTRIC & RECOIL
 DISTRIBUTION SOLID STATE ELECTRONIC
 AIR FILTER FOAM ELEMENT TYPE IN MULTI CHAMBER STILL AIR BOX
 WEIGHT 35kg
 EXHAUST 2 INTO 1 TUNED EXPANSION CHAMBER WITH SPIRAL WOUND

PROPULSOR 12 BLADE, ADJUSTABLE PITCH, DUCTED AXIAL FLOW FAN, 840mm DIAMETER

TRANSMISSION 2.4:1 REDUCTION TIMING, BELT DRIVE SYSTEM; ADJUSTABLE SHAFT; TAPER ROLLER BEARINGS





Hovercraft Swap Page

If you have hovercraft or hovercraft related stuff for sale please [e-mail](#) the ad to me and I'll place it here.

06/17/96

2 hovercrafts for sale

- a sports model modified by Canadian Hovercraft, looks like a seadoo.
5HP front lift engine, 20 HP back drive engine asking \$9000.00 CDN
- a utility model (prototype) designed and built by Canadian Hovercraft.
18 HP front lift engine, 4 cylinder Honda engine drive engine.
fully enclosed cabin seats 3 people asking \$16000.00 CND.

For more info EMAIL pmombour@atcon.com.

2/15/96

19-P Formula 1 Racer Project for Sale



The section needed for completion of the project is the lift engine assembly in the front. I have all the major parts, some body work left to do and other odds and sods around the rest of the craft left to finish. I have invested four years of time and \$15,000.00. I am looking to sell it to someone who has an interest in finishing it.

If no one is interested in the completion of it, the craft will be sold for parts. This included the engine assembly (rear) - VW 1600cc Superbeetle engine with pusher prop and gears, lift engine (front) - Rotax 500cc, gauges and tanks, etc.

I am accepting offers on the machine as a whole currently. If interested email cursulak@uoguelph.ca, or I can be reached by phone during the day at (519) 766-9136.

06/96

Hovercraft for sale, Seattle Area

- AGONFLY hovercraft, 2 passengers, single 2-stroke engine, segmented skirts, with trailer. \$3500
- CUSHION CRAFT hovercraft, 2 passengers, VW engine & variable pitch thrust prop, with trailer. \$900

For either of the above craft, contact Jon S. Lovell at 74034.1032@compuserve.com or at 2038 South 108th St., Seattle, WA 98168.

11/09/96

Hovercraft enthusiasts in the Seattle area can get free lathe work done for their craft. Contact Jim Perozzo (jamesp@halcyon.com) for details. All you provide is the materials and watch the work done.

12/4/95

VANGUARD HOVERCRAFT FOR SALE



AIR CUSHION TECHNOLOGIES
PO Box 368 Cedarville, CA 96104
(916) 279-6127
E-Mail hover@sierra.net

Call to Arrange for a Demonstration
or for Additional Information

1/22/95

-FOR SALE-

New Hovercraft parts for sale

Numerous 3-bladed aluminum propellers

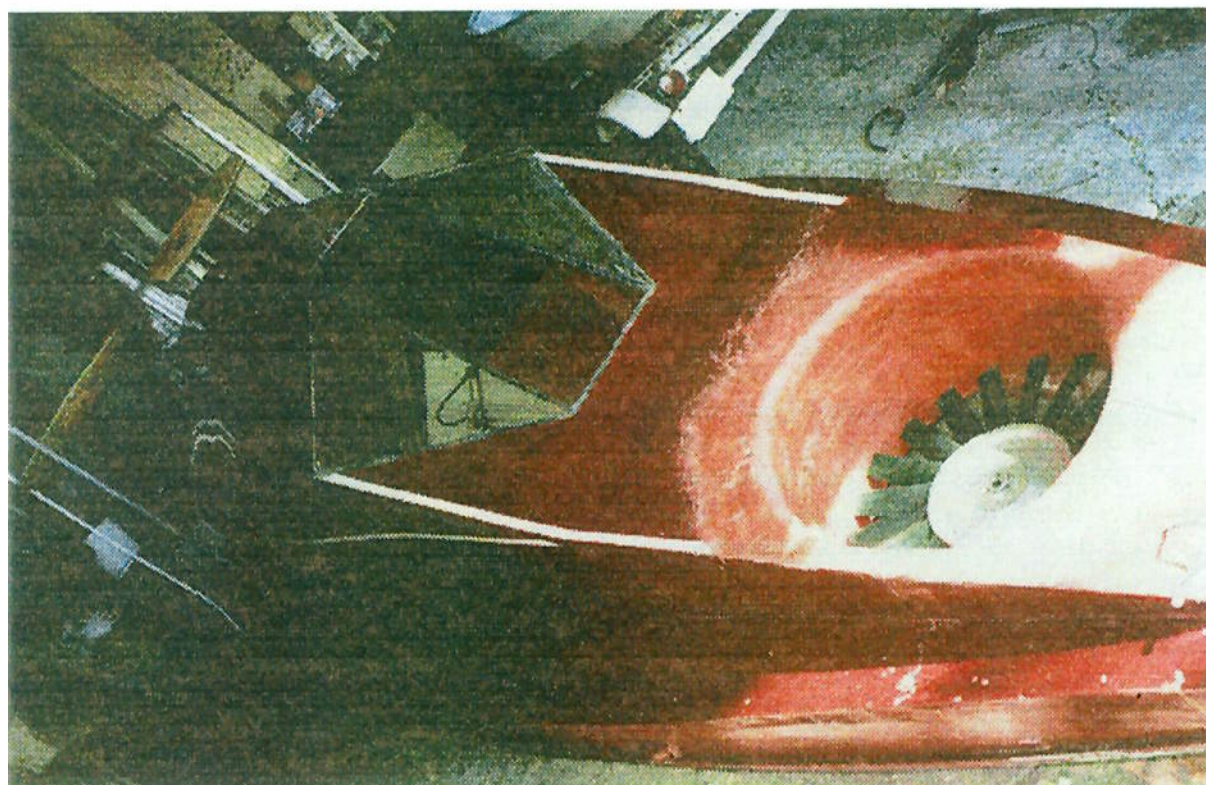
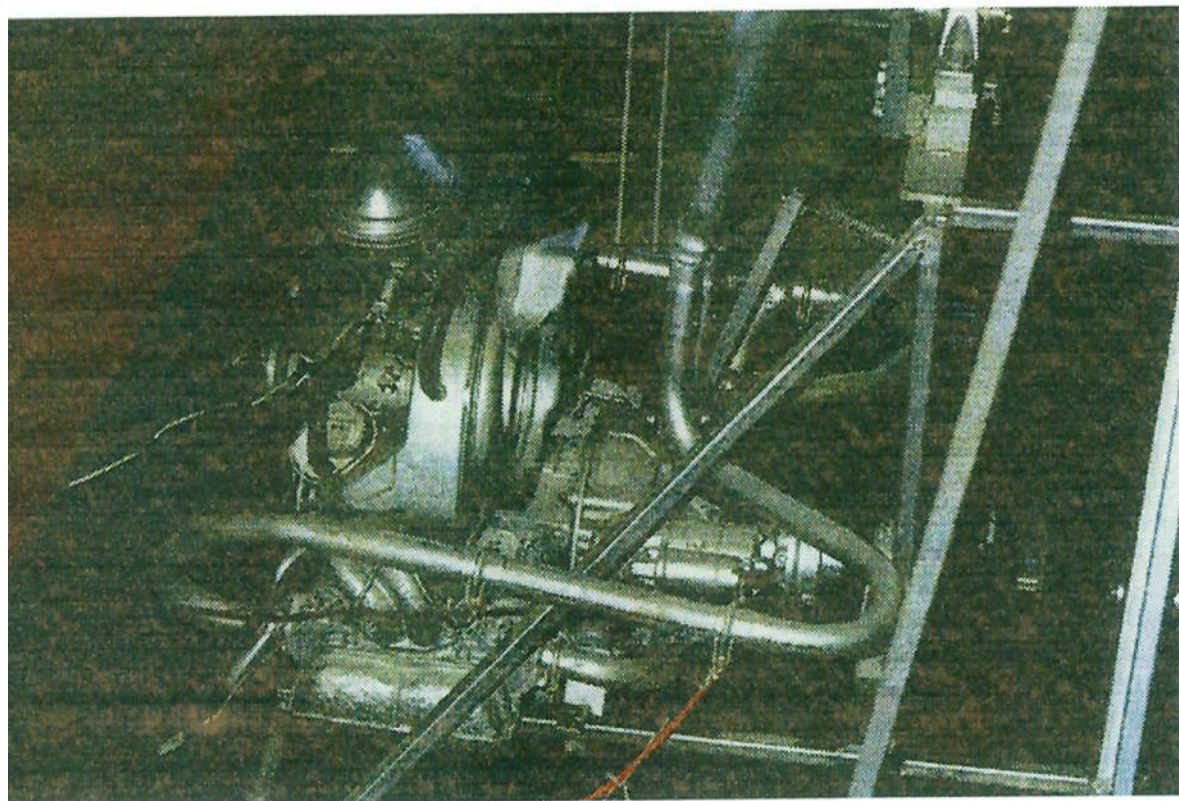
New carbon fibre 7-bladed fans

Hubs & Gearboxes from former production built hovercraft from 1972-1975

Aircycle \$ Hummingbird, built in Troy, Michigan

CONTACT: B. Pinder
1-519-785-2097 Ontario, Canada
or E-Mail me at katlin@wwdc.com

[Click](#) to the Hovercraft Homepage.





256x240 pixels

<http://www.gj.net/%/Ealexgraphics/van1.jpg>

• JPEG image 256x240 pixels

1, 2, 3



ge 256x240 pixels

JPEG image 256x240 pixels

1, 2, 3



image 256x240 pixels

1, 2, 3



Alternative.. alt.hovercraft Newsgroup

How To:

To read a topic, just click on it, to save it, open your browsers File\Save As menu...

Submission Key: su = original submission; RE = reply to original submission

There are currently

21

submissions

alt.hovercraft

General

- ☐ su: [How do I submit to the hovercraft newsgroup](#) - Boris Smirnoff - 01-Feb-96
- ☐ su: [SR-N1 photo and more in the Electric Library](#) - Eric Goldstein (US) - 01-Feb-96
- ☐ su: [Book Info.....](#) - Eric Goldstein - 10-Apr-96
- ☐ su: [Does anyone have a European Manufacturers List...?](#) - John Chaplin - 24-May-96
- ☐ su: [Active Newsgroup with Hovercraft Building Hints...](#) - Terry Benson - 1-JUL-96

The 'REAL' Newsgroup SAGA

- ☐ su: [The ongoing attempt to start a REAL alt.hovercraft newsgroup \(Must Read\)](#) - Alex Olshove - 07-Feb-96
- ☐ su: [NEWSGROUP VOTING....PLEASE READ](#) - Alex Olshove - 23-Mar-96
- ☐ su: [Attempt to start Internet Newsgroup](#) - Dennis Benson - 2-Apr-96
- ☐ su: [VERY POOR result...Let's get it moving](#) - Dennis Benson - 2-May-96

Help Wanted

- ☐ RE: ["Would like help on what type of skirt material to use"](#) - 2-Jul-96
- ☐ su: ["Design for a small engined craft wanted"](#) - 28-Jun-96
- ☐ su: ["Would like help on what type of skirt material to use"](#) - 23-Jun-96
- ☐ RE: ["Would like help on what type of skirt material to use"](#) - James Perozzo - 28-Jun-96
- ☐ su: ["I really need info on hovercrafts"](#) - Patrick Hockey (PA.) - 07-Feb-96
- ☐ su: ["Does anyone know the details of the 'airpuck' 1 person hovercraft"](#) - Ryan Lakenan - 01-Mar-96
- ☐ RE: ["Does anyone know the details of the 'airpuck' 1 person hovercraft"](#) - Eric Goldstein -

05-Mar-96

- su: ["I need help with my Universal UH-12T4 project"](#) - Richard - 08-Mar-96
- RE: ["I need help with my Universal UH-12T4 project"](#) - James Perozzo - 28-Jun-96
- su: ["I also need help with hovercraft info."](#) - Zach Loew - 9-Mar-96
- su: ["Info needed on US Entry Class Formula"](#) - Pascali Lepicier - 19-Apr-96
- su: ["Disneyland Flying Saucers - Info needed"](#) - Steve Calver - 30-May-96

Submission Key: su = original submission; *re = reply to original submission

UL072

Hovercraft Calculator

Only works with Netscape 2.0 and later.

The calculations that made this page possible were basically covered directly from [James Perozzo's](#) book [Hovercrafting As A Hobby](#) and therefore, any credit should be directed to him. All I did was convert his work to JavaScript for your use.

If you don't know what to do with the output from this calculator, you should probably purchase James' book. It really is awfully handy if you're designing a hovercraft.

Thus far, I have only completed the calculations for the lift-system. I will be adding other design stages (thrust, etc) when I get the time. Otherwise, it's an accurate alternative to punching buttons on your calculator. Keep in mind that this is beta release .00000000001a. ;-)

Thus far, this program assumes that your craft will be a simple rectangle shape with a slope or wedge at the front. The air gap is the distance between the ground and the bottom of the skirt (*not* the bottom of the craft).

CALCULATION STAGE 1 - Lift Requirements

Enter data in the following 4 fields and press the "Calculate" button. The answers will appear below.

Enter hull width in feet:

Enter hull length in feet:

Enter Amount of air gap required in inches (i.e. 0.5):

Enter Estimated Gross Weight of craft (fully-loaded w/driver):

Enter

Information derived from input (stage 1):

Don't enter data in this area.

Approximate lift perimeter (ft)

Total hover gap (sq. ft.)

Total cushion area (sq. ft.)

Cushion pressure (lbs/sq. in)

Expected actual air velocity (ft/sec)

Lift air volume (CFS)

Lift air volume (CFM)

Lift engine HP required

Est. Fan diameter (inches)

CALCULATION STAGE 2 - Lift Fan

Enter data in the following fields and press the "Calculate" button. The answers will appear below.

Enter diameter of lift fan (inches):

Note: It is recommended to run a B&S engine at no more than 85% of full RPM (3600 RPM). Although this decreases available HP, it increases engine life and reliability.

Enter desired engine power (HP):

Enter speed of engine (RPM):

Enter Number of fan blades desired:

Information derived from input (stage 2):

Don't enter data in this area.

Blade width [mid] "

Blade Width [base] "

Blade Width [tip] "

Tip Speed (ft/sec)

Return to the [Hovercraft Homepage](#).

Please e-mail comments to alex@gj.net. Accessed 32 times.

RECREATIONAL HOVERCRAFT



[A very light ACV. \(10k\)](#)

1.6.9

[Stats](#)

1.6.9



[A craft utilizing twin gimbal fan mounts. \(19k\)](#)

1.6.9

[Stats](#)

1.6.9



[Universal Hovercraft UH12T2. \(13k\)](#)

1.6.9

[Stats](#)

1.6.9



[Universal Hovercraft UH18S. \(18k\)](#)

1.6.9

[Stats](#)

1.6.9



[From the Hover Concepts brochure. \(24k\)](#)

1.6.9



[Hovercraft jumping \(from Hover Concepts brochure\). \(16k\)](#)

1.6.9



[My girlfriend and I on a SCAT \[please don't tell my wife!\] :- \(28k\)](#)

1.6.9

Submitted by Jim Kenney.



[A really cold guy on a HoverJet. \(46k\)](#)

1.6 MB

Submitted by Jim Kenney.



[The AirRider is powered by a 4-cyl 4-cycle BMW motorcycle engine. Sweet machine!](#)

1.6 MB

8k)

Submitted by Jim Kenney.



[A HoverDynamics Hovercraft at Lake Lanier in GA. \(28k\)](#)

1.6 MB

Submitted by Jim Kenney.

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.



<http://www.gj.net/~alex/stats/r1stat.txt>

1.4.2

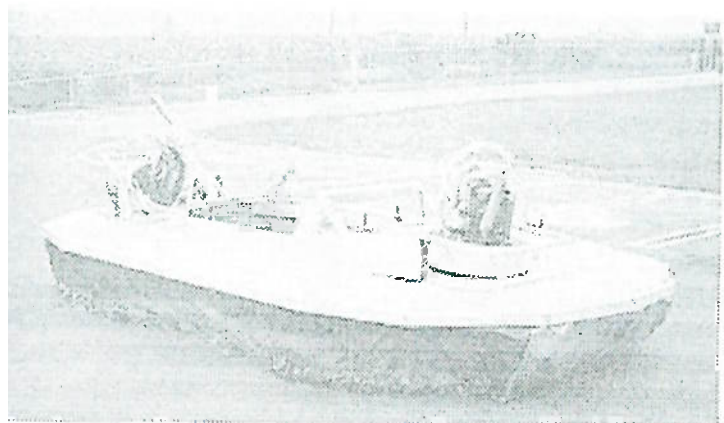
Fanbird Hovercraft UHO (Japan)

cushion area:	2.3m2
seats	1
Engine HP	4-8
weight (empty)	60kg
total weight	120kg
Max Speed	20km/
Hover Gap	.25M
Skirt	Finge

1.4.3

<http://www.gj.net/~alex/stats/r3stat.txt>

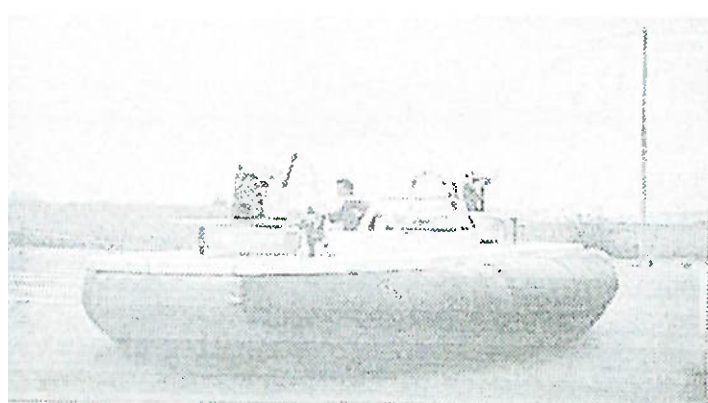
1.4.4



Bertelsen, Inc AEROMOBILE 16 (USA)

cushion area:	260sq ft
skirt depth:	1ft 4in
seats:	12
Engine HP:	2 @ 125
weight (empty):	3500lbs
max payload:	1000lbs
Max Speed:	60mph
Skirt:	Urethane nyl
max gradient:	10 degrees b
obstacle clearance:	1ft 4in

1.4.5



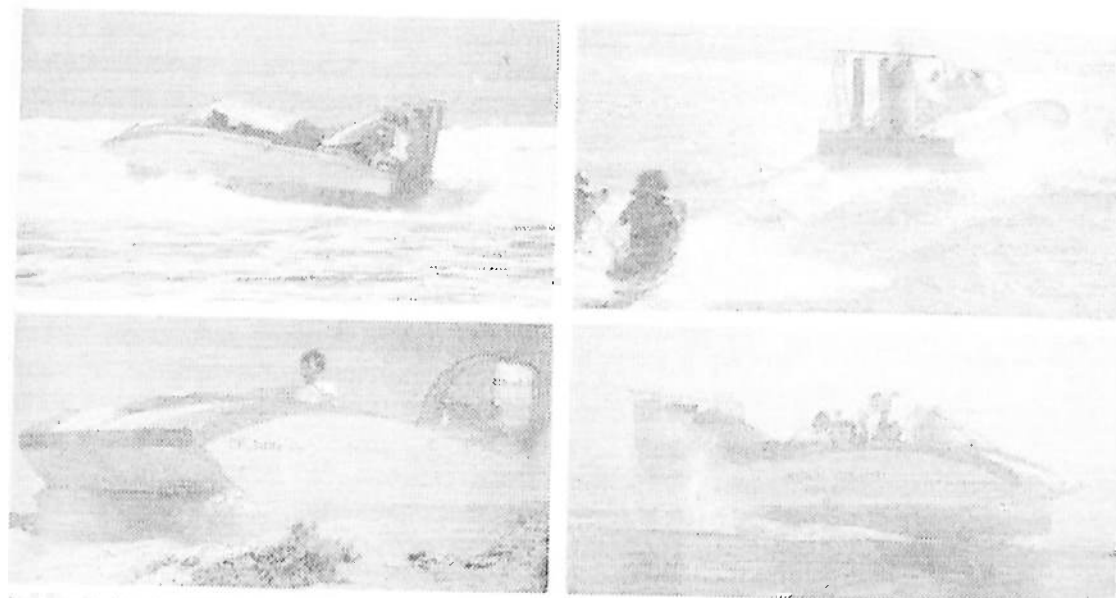


Universal Hovercraft UH-12T2 (USA)

cushion area:	65sq ft
skirt depth:	7 in
seats:	3
Engine:	10hp B&S Thr (24" prop).
weight (empty):	300lbs
max payload:	400lbs
Max Speed:	35mph
max gradient:	12 degrees
obstacle clearance:	6 in

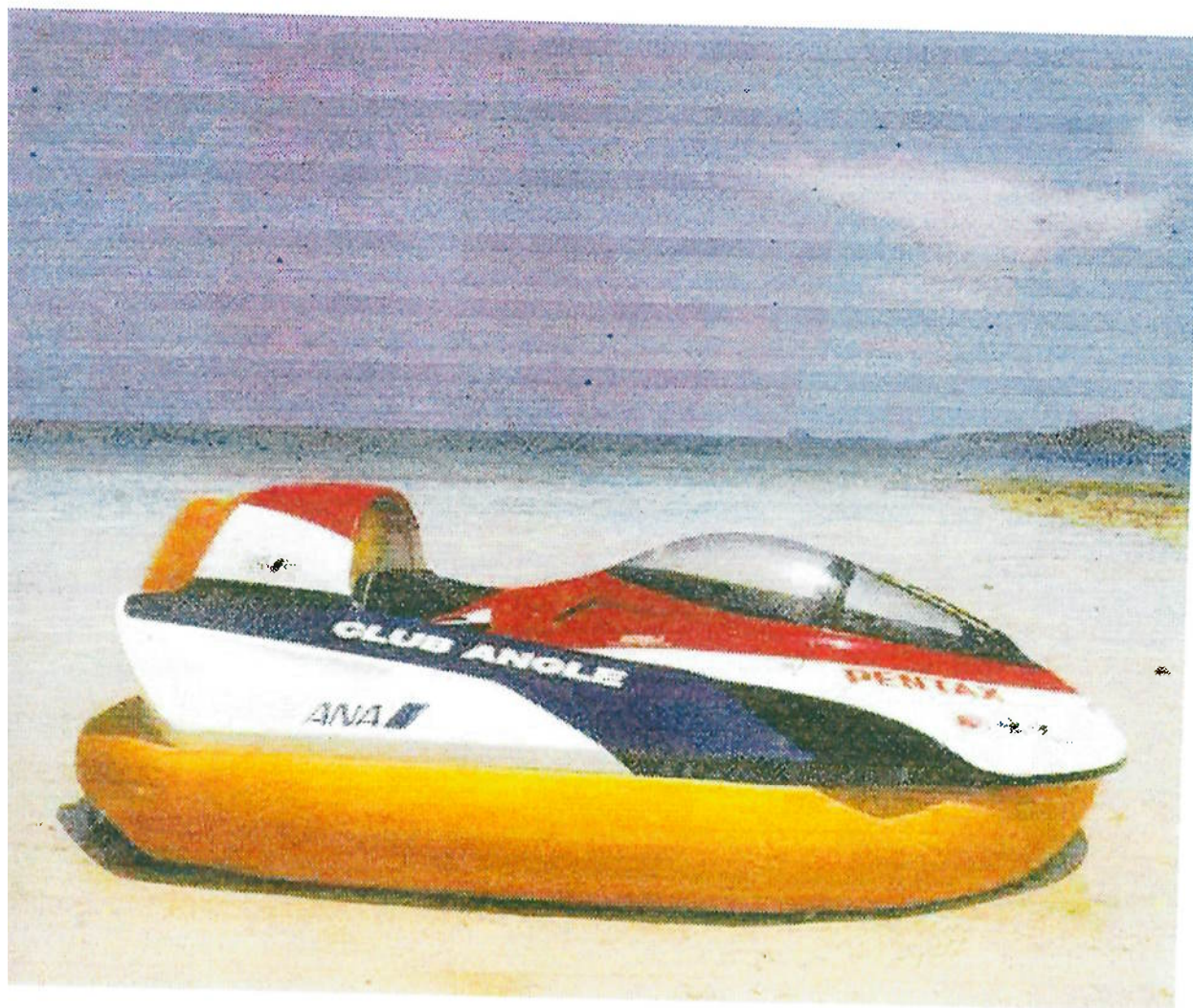
(42" prop), 5hp B&S L.

image 561x332 pixels



Universal Hovercraft UH-18S (USA)

cushion area:	?
skirt depth:	?
seats:	7
Engine:	90hp Corvair (3' prop 1 6' prop thrust)
weight (empty):	1100lbs
max payload:	1400lbs
max speed:	65mph
max gradient:	30%
obstacle clearance:	?



Testing products to extremes establishes operational limits





SPECIAL PURPOSE



[The River Rover uses elevons to control pitch and roll. \(13k\)](#)

[1.7.4](#)

[Stats](#)

[1.7.4](#)



[Military Aircraft using an air cushion landing system. \(9k\)](#)

[1.7.7](#)

[Stats](#)

[1.7.7](#)



[A tractor utilizing an air cushion and an ice breaker. \(24k\)](#)

[1.7.8](#)

[Stats](#)

[1.7.8](#)



[A backhoe on a hover platform \(30k\)](#)

[1.7.9](#)

[Stats](#)

[1.7.9](#)

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.



<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/s1stat.txt>

Ingles Hovercraft Associates Ltd River Rover

Length: 19' 3"
 Width: 8' 11"
 Height (off cushion): 4' 2"
 seats: 5
 Engine: 85hp Renault R-20TL driving 2
 10 blade lift fan and 2 28" 5
 thrust fans.
 weight (empty): 1410lbs
 max payload: 1000lbs
 max speed: 37.5mph



Small text below image: The River Rover hovercraft was designed by the 1970s British Army and was the first of its kind to be built in the UK. It was built by Ingles Hovercraft Associates Ltd. The River Rover is powered by a single Renault R-20TL engine.

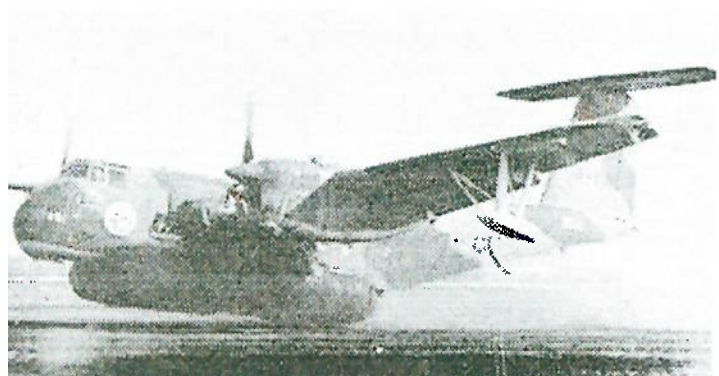
<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/s2stat.txt>

4.7.14

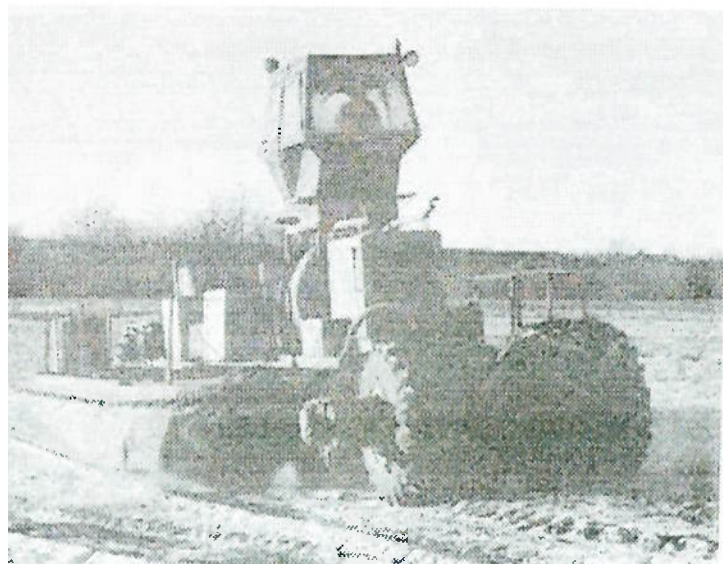
Bell Aerospace De Havilland XC-8A (US)

Wing Span: 38'
 Cushion length: 16'
 Cushion Width: 3' 10"
 Cushion Area: 45 sq
 Cushion Pressure: 55 lb:
 Aircraft Weight: 2500lb
 Cushion Weight: 258 lb:
 Cushion Engine: 90bhp
 Take-off Run: 650ft
 Landing run: 475ft

McCulloch 4318F driving 2-stage axial



Small text below image: The XC-8A was a military transport aircraft designed by Bell Aircraft Corporation. It was a four-engine, high-wing aircraft with a large cabin and a tail-mounted propeller.



Maridyne ACV-4000 Backhoe loader. This machine is designed for use in the construction industry.



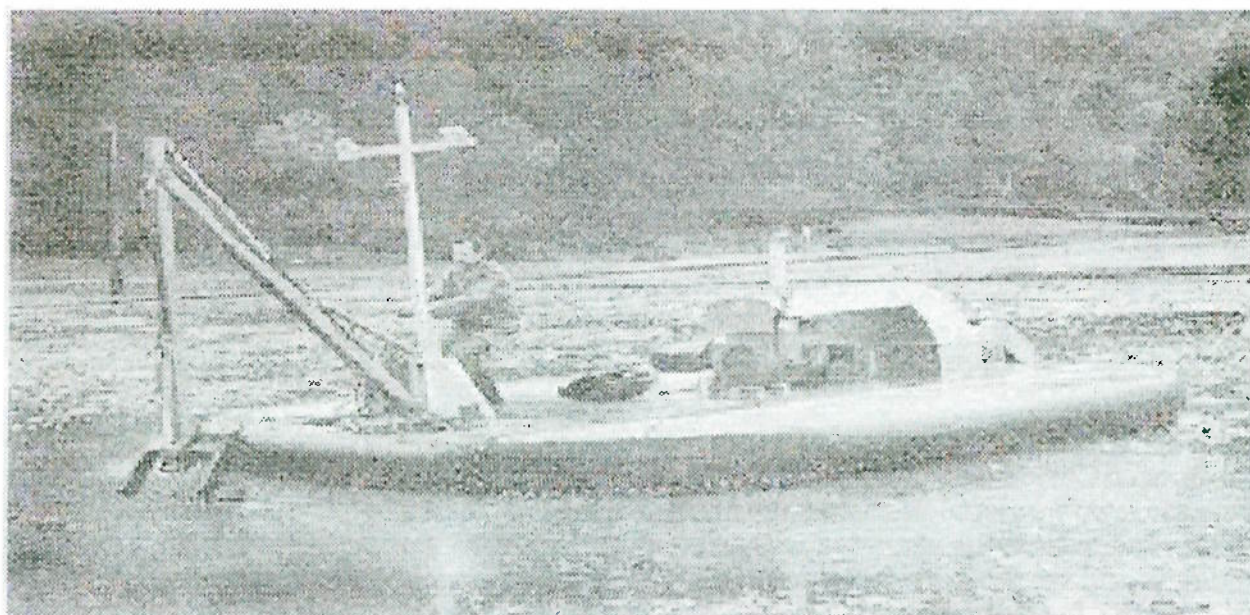
Small tugboat or barge. This vessel is used for transporting goods and passengers on inland waterways.

www.gj.net/%7Ealex/stats/s3stat.txt

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/s3stat.txt>

Maridyne ACV-4000 Backhoe (USA)

Length:	18'
Width:	15'
Thrust:	Provided by backhoe arm, 2 men, winches, or 50hp outboard motor.
Lift:	37hp Wisconsin Petrol engine driving 24" Centrifugal fan.
cushion pressure:	17 lbs/sq. ft.
Hull clearance:	12"
Backhoe reach:	14'
Digging depth:	7'
weight (empty):	4000 lbs



Backhoe loader is a type of heavy construction equipment used for digging. It features a long boom with a bucket at the end, which can be extended and lowered to dig into the ground. The loader is typically mounted on a tractor-like chassis with tracks or wheels. It is commonly used in construction, mining, and agriculture for tasks such as digging foundations, trenches, and loading material into trucks or storage bins.

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/s4stat.txt>

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/s4stat.txt>

Tractor: Hoverlift HL-115 Salamander

Length: 35' 10"
Width: 20' 2"
Thrust: Hydraulic PTO from lift motor to wheel
motors for terra-tired or paddle wheels
Lift: Deutz BF10L413 diesel driving centrifugal fan
Max Speed: 25mph

Ice Breaker: Hoverlift HL-301

Limited specs available.

Breaks ice up to 24" thick

Engine: GM Detroit Diesel 8V71

Fan: New York Blower Series 40 Centrifugal.

MILITARY



[Military craft utilizing 4 pivoting ducted fans. \(17k\)](#)

Stats



[Military craft unloading a tank. \(26k\)](#)

Stats



[Military craft firing cruise missiles. \(31k\)](#)

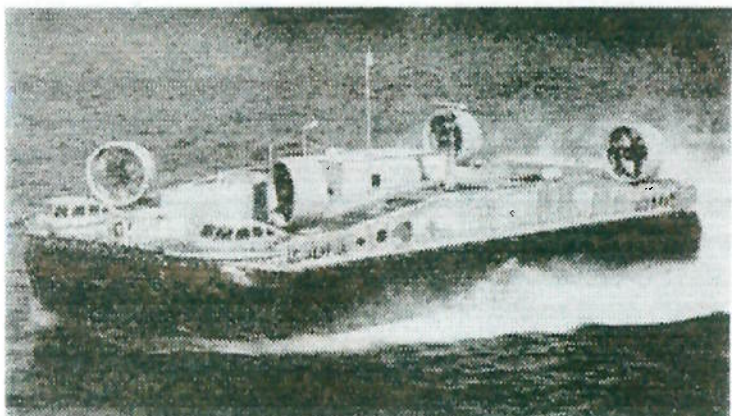
Stats

More pictures of military craft [here](#).

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.



AALC Jeff (A) amphibious assault craft underway on the water prior to being towed to the USS West.

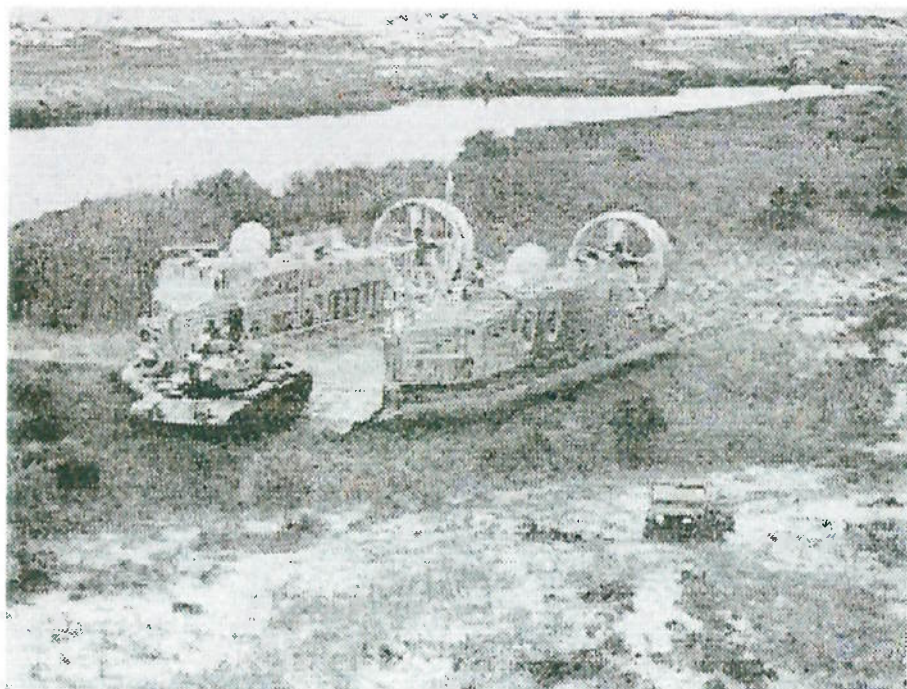


<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m1stat.txt>

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m1sta>

AeroJet-General Corp. AALC Jeff(A) (USA)

skirt depth:	5' deep peri-cells
seats:	2 compartments seating 3 each.
Lift:	two 3750hp Avco Lycoming TF40 gas turbines driving 8 4ft dia. fans.
Thrust:	four 3750hp Avco Lycoming TF40 gas turbines driving 4 7ft 5in shrouded props.
weight (empty):	180,000 lbs
max payload:	150,000 lbs
max speed:	50 knots
max gradient:	11.5%
obstacle clearance:	4ft



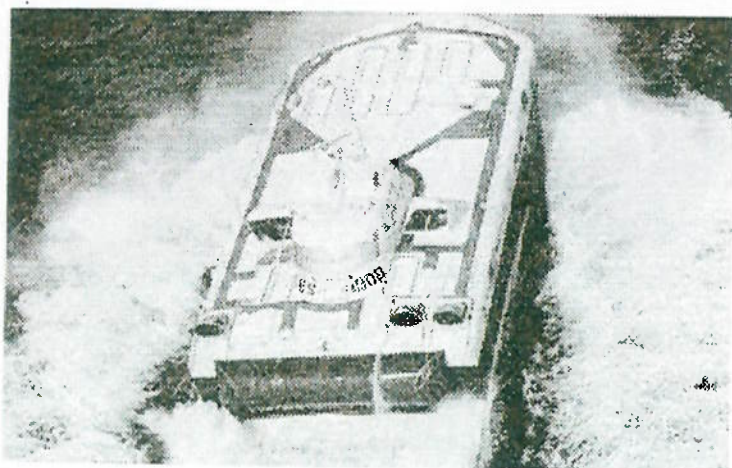
JEFF(B) amphibious assault vehicle (AALC) moving through the water. The vehicle is shown from a side-on perspective, moving through a body of water.

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m2stat.txt>

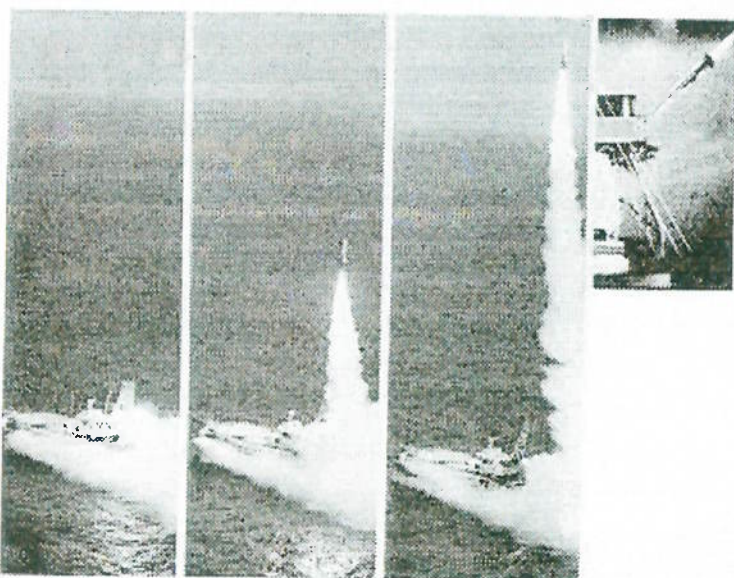
<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m2stat>

Bell Aerospace Textron AALC Jeff(B) (USA)

skirt depth:	5' deep bag-n-finger
seats:	Generally 4 operating personnel and 2 supervisors
Lift:	4 2800hp Avco Lycoming gas turbines driving 4 5ft dia. centr. impellers
Thrust:	2 2800hp Avco Lycoming gas turbines driving 2 11ft 9in var. pitch props.
weight (empty):	330,000lbs
max payload:	150,000lbs
max speed:	50 knots (sea state 2)
max gradient:	13%
obstacle clearance:	4ft



The SES-100B is a high-speed, shallow-draft, amphibious transport ship. It is designed to carry up to 100 troops and 10 tons of cargo. The ship is powered by three gas turbines and has a top speed of 90 knots. It is also capable of operating in rough seas and can be used for a variety of missions, including troop transport, cargo delivery, and amphibious assault.



The SES-100B is a high-speed, shallow-draft, amphibious transport ship. It is designed to carry up to 100 troops and 10 tons of cargo. The ship is powered by three gas turbines and has a top speed of 90 knots. It is also capable of operating in rough seas and can be used for a variety of missions, including troop transport, cargo delivery, and amphibious assault.

[/www.gj.net/%7Ealex/stats/m3stat.txt](http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m3stat.txt)

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/m3stat>

Bell Aerospace Textron SES-100B (USA)

skirt:	Sidehull Surface Effect Ship (SES)
seats:	4 crew and 6 observers
Lift:	3 UACL ST6J-70 marine gas turbines (fans unknown)
Thrust:	3 Pratt & Whitney FT12A-6 marine gas turbines driving marine props.
weight (empty):	105 tons
max payload:	10 tons
max speed:	over 80 knots on calm water (has achieved 90.3 knots or 104mph).
max gradient:	N/A
obstacle clearance:	?

RESCUE



[This 16' Hovertechnics operates from a Fairfield, CT fire department.\(50k\)](#)

Submitted by Jim Kenney.

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.

G image 808x467 pixels

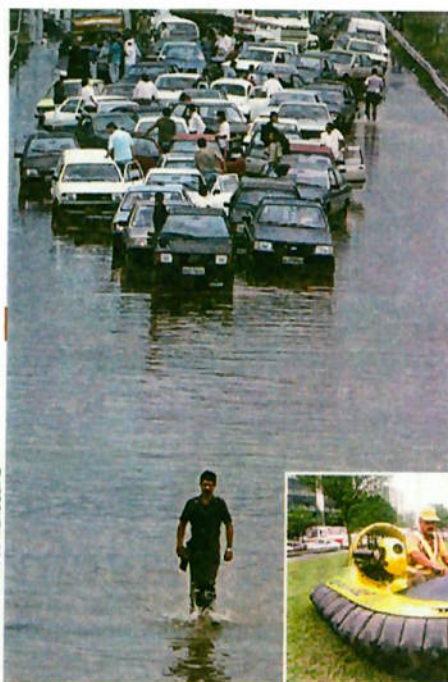
<http://www.gj.net/%7Ealex/graphics/hover22..>



O reforço de São Paulo contra as enchentes

As habituais enchentes de verão, que infernizam o trânsito nas ruas de São Paulo, nunca mais serão as mesmas. A partir deste final de ano, a CET — Cia. de Engenharia de Tráfego — vai pôr em ação uma nova arma — dois hovercrafts (um dos quais já testado no ano passado), veículos que funcionam sobre colchão de ar e são capazes de andar nas marginais e flutuar nos rios Tietê e Pinheiros. Com eles, fica mais fácil socorrer vítimas e levar bombeiros a pontos de estrangulamento do trânsito.

A novidade, é claro, não muda a situação da Marginal Tietê. Com um volume de tráfego superior ao de qualquer rodovia nacional, ela é também a campeã de congestionamento,



EDU GARCIA e MARCOS MENDES/ABE



Hovercraft: facilitando o resgate

mentos, com uma fila média de 10,7 km no pico da tarde. Mas impedirá que as vítimas esperem longas horas pela chegada dos bombeiros. A Marginal do Tietê, assim, continuará à frente da avenida 23 de Maio, ligação do eixo norte-sul da cidade, cuja média diária é de 5,3 km e da Marginal Pinheiros, com 4,1 km de congestionamento.

COMMERCIAL



The Princess Margaret hover-ferry (77k)

Stats

[Back](#) to the Hovercraft Homepage.

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/c1stat.txt>

<http://www.gj.net/%7Ealex/stats/c1sta>

The craft pictured is a British Hovercraft Corporation SR.N4 Mk 2

Weight: 200 tons

Average Service Speed: 40-50 kts in waves up to 10' in height.

Engines: 4 Rolls-Royce Marine Proteus free-turbine, turboshaft that put out 4250 SHP each.

Thrust: 4 Hawker Siddeley Dynamics four-bladed variable and reversible pitch 19' dia fans. Each driven by one of the 4 engines.

Lift: BHC 11' 6" 12-bladed centrifugal.

Buoyancy: More than 550 tons. Supplied by 24 water-tight subdivisions for safety.

Length: 130' 2"

Width: 78'

Overall height: 37' 8"

Skirt depth: 3'

Max Speed over calm water: 70 kts

negotiable gradient from standing start: 1:11

The craft is manned by a commander, an engineer/radio operator and a radar operator/navigator with a seat for a fourth crew-member.

The craft can accommodate 282 passengers and 37 cars.

The knot on the top is for the crew and the vehicles are loaded via the ramp in front that closes like a draw-bridge.





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1893 - 1993 TRADIÇÃO E MODERNIDADE

Hovercraft: Desenvolvimento de um Veículo **Todo Terreno e Plena Manobrabilidade**

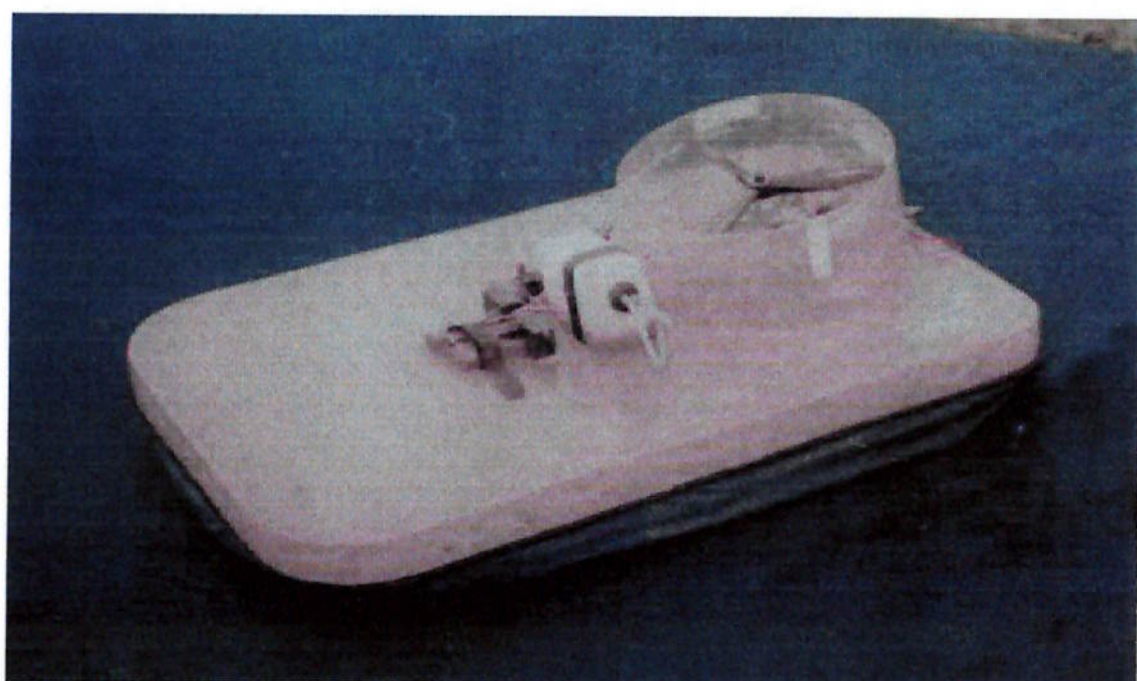
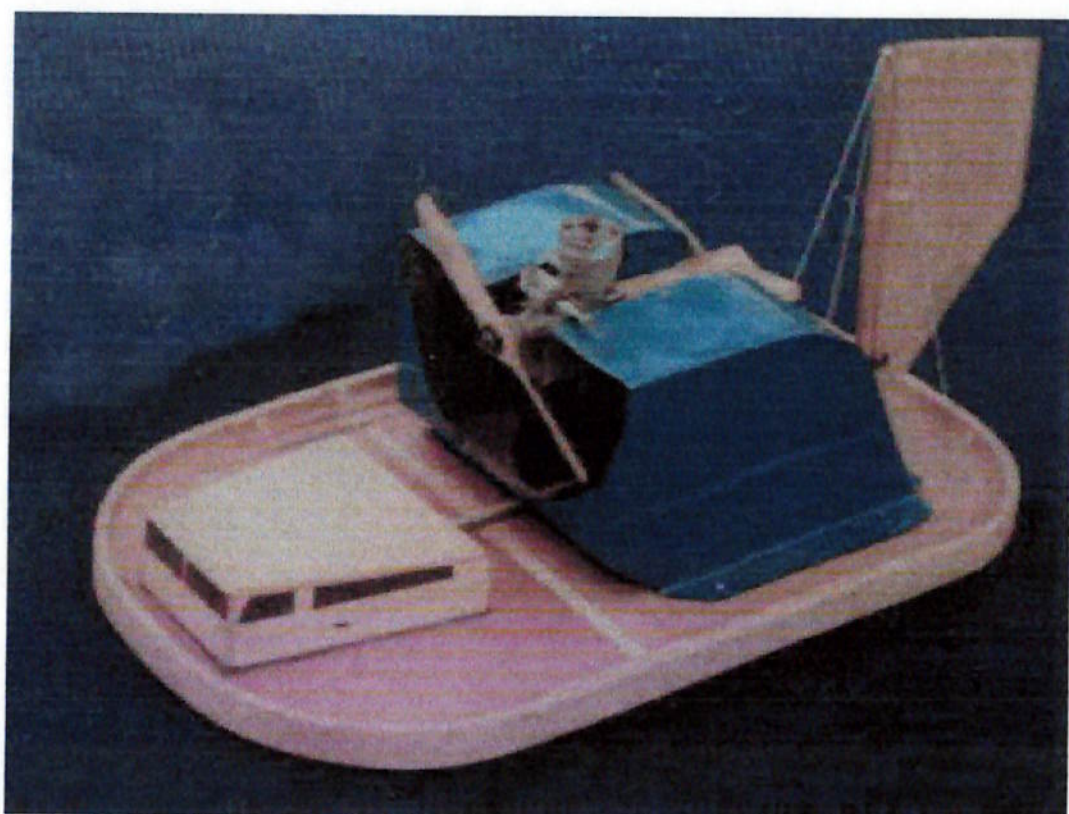
Projeto Básico

dezembro 1998

Professor Orientador: Saburo Ikeda

Autores: Egidio Guelpa
Marcos Nogueira





*Este projeto é dedicado aos meus PAIS, que silenciosamente
tanto fizeram para o sucesso deste curso.*

Índice

2. PROJETO BÁSICO

2.0	Introdução	1
2.1	Escolha da Melhor Solução	3
2.2	Modelagem do Projeto	40
2.3	Ensaio de Modelos Analógico – Funcionais	60
2.4	Análise de Sensibilidade	72
2.5	Análise de Compatibilidade	73
2.6	Análise de Estabilidade	76
2.7	Otimização Formal	78
2.8	Previsões para o futuro e Tempo de funcionamento	83
2.9	Conclusão	84
2.10	bibliografia	85

2.0 Introdução:

Este projeto de desenvolvimento de um veículo todo terreno e plena manobrabilidade iniciou-se a partir de uma observação de mercado nacional e mundial, onde notamos a ausência de um meio de transporte no Brasil que se propusesse a cumprir nossa proposta, enquanto que mundo afora observamos ampla presença deste tipo de veículo, o hovercraft.

A estrutura geral do projeto como um todo está apresentada abaixo, e desta estrutura já está concluído o item 1. Estudo de Viabilidade, e nesta edição apresentamos o item 2. Projeto Básico.

1. ESTUDO DE VIABILIDADE:

- 1.1 Estabelecimento da Necessidade
- 1.2 Formulação do Projeto: especificações técnicas
- 1.3 Síntese de Soluções
- 1.4 Exequibilidade Física
- 1.5 Valor Econômico: viabilidade econ. p/ o fabricante e p/ o comprador
- 1.6 Viabilidade Financeira
- 1.7 Conclusão

2. PROJETO BÁSICO

- 2.1 Escolha da Melhor Solução
- 2.2 Modelagem do Projeto
- 2.3 Ensaios de Modelos Analógico - Funcionais
- 2.4 Análise de Sensibilidade
- 2.5 Análise de Compatibilidade
- 2.6 Análise de Estabilidade
- 2.7 Otimização Formal
- 2.8 Simplificação do Projeto
- 2.9 Previsões para o futuro e Tempo de funcionamento
- 2.10 Conclusão

3. PROJETO EXECUTIVO

- 3.1 Planejamento do Projeto Executivo
- 3.2 Proj dos Conjuntos
- 3.3 Proj dos Componentes
- 3.4 Projeto Detalhado das Peças
- 3.5 Preparação dos Desenhos de Montagem
- 3.6 Construção Experimental dos Protótipos
- 3.7 Programa de Ensaios
- 3.8 Análise e Certificação
- 3.9 Aperfeiçoamento e Reprojetado
- 3.10 Análise do Valor

4. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

5. PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ou DA MONTAGEM DA INSTALAÇÃO

6. PLANEJAMENTO DO CONSUMO ou DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO

7. PLANEJAMENTO DO ABANDONO DO PRODUTO ou DO PROJETO

Uma vez expostas no Estudo de Viabilidade várias propostas sobre um veículo todo-terreno, será feita agora uma análise mais aprofundada das possibilidades levantadas, de modo a se escolher uma solução e detalhá-la de uma forma ainda planificada focando o resultado do conjunto como um todo. Serão elaborados modelos matemáticos e físicos, e estes testados a fim de se estabelecer o campo de variação dos parâmetros mais importantes, as características básicas dos componentes, e a influência dos fatores internos e externos sobre o desempenho funcional do veículo.

Portanto este será um projeto ampla e cuidadosamente descritivo, para que se chegue a respostas conclusivas e acertivas. Estamos elaborando um complexo projeto de um veículo como um todo o que envolve decisões nos vários sistemas e estes devem se entrosar harmonicamente no final. A propagação de erro no projeto como um todo é crescente e proporcional aos prejuízos provenientes destes erros.

2.1 Escolha da Melhor Solução:

Neste capítulo, será feita a comparação das possíveis soluções do projeto, determinando vantagens e desvantagens de cada uma, e escolhendo ao final, a melhor dentre as levantadas.

O método da matriz de decisão é um método eficiente para ponderar critérios de escolha, e será utilizado sempre que mais de um critério influenciar na solução, o que ocorre praticamente sempre. O método consiste em entitular as colunas da matriz, com as opções de solução do quesito de decisão em questão, e entitular as linhas da matriz com os critérios de avaliação do quesito em questão, atribuindo a cada um destes critérios, um 'peso' que o pondera em relação aos demais critérios. Daí, cada célula da matriz conterá a 'nota' relativa à linha e coluna, nota esta que será multiplicada pelo peso da linha. Obtemos assim, ao final de cada coluna, a somatória das notas ponderadas para cada solução proposta. Devemos salientar nos momentos de avaliação de conceitos, além de questões técnicas, os aspectos sócio-econômicos e ecológicos.

Por estarmos tratando de um sistema completo, e não de um componente, não é possível fazer uma simples escolha da melhor solução. Faremos sim a divisão do sistema hovercraft em sub-sistemas, e em cada subsistema (em cada quesito de decisão) será feita a escolha da melhor solução através de matrizes de solução, o que nos fornecerá um conjunto de soluções, que consolidará o sistema ideal.

Para tal, fracionaremos nosso sistema hovercraft nos seguintes quesitos de decisão:

- 2.1.a. tipo de motor a ser utilizado
- 2.1.b. configuração da motorização
- 2.1.c. divisão do fluxo de ar
- 2.1.d. dispositivos de propulsão
- 2.1.e. tipo de hélice a ser utilizada
- 2.1.f. direção da entrada de ar
- 2.1.g. dispositivos de manobrabilidade
- 2.1.h. lay-out do colchão de ar
- 2.1.i. dispositivos de frenagem
- 2.1.j. dispositivos de estabilidade ao roll e ao pitch

Finalizando a escolha da melhor solução, faremos a conclusão unindo as soluções dos itens acima.

2.1.a. TIPO DE MOTOR A SER UTILIZADO:

O estudo neste quesito trabalhará os tipos de motores que existem e sua aplicação em um hovercraft.

Basicamente, as opções de solução que podemos utilizar são: motores elétricos, motores a combustão interna, ou turbinas a gás de pequeno porte, como as utilizadas em helicópteros comerciais.

O critérios de avaliação que serão utilizados serão: nível de ruído, baixo custo, relação peso/potência, consumo, facilidade de operação, risco de operação, baixo custo de manutenção, facilidade de manutenção e emissão de poluentes, autonomia. Destes, os mais relevantes para o presente projeto são os três primeiros. O nível de ruído deve atender normas governamentais para permitir a regulamentação do veículo, além de prejudicar diretamente o conforto e até viabilidade de se tripular o veículo, que é aberto. O custo alto da motorização inviabiliza a comercialização do veículo, uma vez que como visto no Estudo de Viabilidade, a motorização tem significativa participação no custo total do veículo. A relação peso/potência atua diretamente no peso total do veículo, que é uma das variáveis básicas para a viabilização do cálculo deste veículo que se auto sustenta no ar.

Vejam os agora, os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz a seguir, para cada solução:

Nível de ruído: o motor elétrico oferece grande vantagem sobre os demais neste critério, e um motor a combustão interna com a tecnologia de silenciadores atual oferece um nível de ruído perfeitamente tolerável, mesmo não estando em um compartimento fechado. A turbina a gás, por ter sua câmara de combustão aberta para a atmosfera graças à sua concepção em si, tem um nível de ruído excessivo. O fato de que teremos uma hélice acoplada ao motor, já aumenta o nível de ruído graças ao deslocamento de ar cíclico que a hélice produz. Teremos também provavelmente um sistema de redução neste acoplamento, que também gera ruído. estes elementos deverão ser estudados para que o projeto como um todo atenda às exigências do Contram quanto à emissão de ruído, oferecendo assim conforto aos ocupantes e ao público na redondeza do veículo.

Custo: este critério avalia o custo de aquisição do motor, considerando uma mesma potência para os três tipos de motores. Estimando uma potência ao redor de 80 cv, ou seja, 60 KW, o custo do motor elétrico se torna altíssimo, e ainda mais quando devemos neste caso, considerar o custo dos acumuladores. Quanto ao motor a combustão interna, podemos utilizar um motor automotivo, que oferece tecnologia atual, e acima de tudo, uma produção alta, o que torna baixo seu custo de aquisição. A turbina a gás é ainda pouco utilizada em projetos que divirjam da indústria aeronáutica, o que limita sua produção, tornando seu custo muito elevado.

Relação peso/potência: como o custo, a relação peso/potência é uma grande desvantagem do motor elétrico, pois devemos aqui também considerar o peso dos acumuladores. Um conjunto elétrico em torno de 80 cv, e com autonomia para os 200km propostos no estudo de viabilidade, vai pesar em torno de 300kg ou até mais. O motor a combustão interna oferece uma boa combinação neste critério, porém, a melhor

solução seria a turbina a gás, que descarrega uma excelente potência mesmo sendo o equipamento de pequenas dimensões.

Consumo: A propulsão por energia elétrica é uma boa solução em termos de custo, uma vez que os acumuladores são recarregados na rede elétrica residencial, e a baixo custo. Porém, o rendimento deste tipo de propulsão não é como o de um motor a combustão interna, o que acaba por deixar o consumo final desta motorização abaixo porém próximo ao da combustão interna. A turbina a gás desenvolve boa potência, porém isso está diretamente relacionado ao seu altíssimo consumo.

Facilidade de operação: a motorização elétrica é sem dúvida a que oferece a maior facilidade de operação do conjunto motor, uma vez que não há acionamento de motor de arranque, regulação de afogador nem de vazão mínima de combustível, nem requer monitoramento de pressões ou temperaturas. A operação da turbina a gás, apesar de não ser complexa, requer um treinamento a mais por parte do operador, uma vez que não é um equipamento com o qual o usuário comum está acostumado a lidar, como é o caso do motor a combustão interna.

Risco de operação: por serem equipamentos conversores e dissipadores de energia (de elétrica ou química, para mecânica), devemos atentar ao risco de, no uso normal, ou no mal uso do equipamento, o operador não correr ou correr o mínimo possível de riscos. Os motores de combustão interna e as turbinas a gás, envolvem queima de combustível e eliminação dos gases queimados a altas temperaturas. E especificamente no caso das turbinas a gás, existe um delicado balanceamento de velocidades e pressões, que oferecem risco de explosões do equipamento por falta manutenção ou manutenção mal executada. Já os motores elétricos não envolvem nenhum destes aspectos, porém trabalham com correntes elétricas na faixa de dezenas de ampéres, o que no caso de má conservação dos cabos, pode gerar um curto circuito direto no motor, ou um aterramento da fase através da carcaça do veículo, o que ofereceria grande risco ao operador.

Custo e Facilidade de manutenção: a manutenção de motores elétricos pelo usuário, é praticamente nula, devendo-se apenas atentar ao estado de conservação dos cabos, lubrificação dos mancais e limpeza dos contatos. Já a manutenção especializada, no caso de reparos de maior porte, deve ser feita em oficinas bastante especializadas (no caso de motores elétricos deste porte), o que nem sempre é fácil de se encontrar, e apresenta um custo alto. O motor a combustão interna, sendo o mesmo utilizado em veículos automotores, apresenta grande facilidade e baixo custo de manutenção, com a vantagem de que o usuário já está habituado com a operação. Isso não ocorre com a turbina a gás, que apresenta as mesmas dificuldades que a manutenção do motor elétrico, com o agravante de que a manutenção pelo usuário deve ser minuciosa e constante.

Emissão de poluentes: Emissão zero no caso do motor elétrico. As outras duas motorizações propostas apresentam queima de combustível líquido e consequente eliminação de resíduos de combustão. A turbina a gás entretanto, apresenta um consumo bastante mais elevado, e consequentemente, maior emissão de poluentes.

Matriz de decisão do TIPO DE MOTOR A SER UTILIZADO:

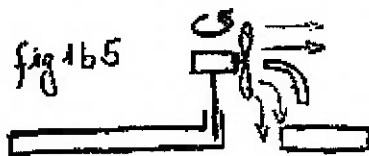
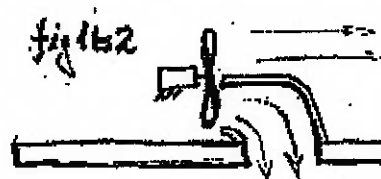
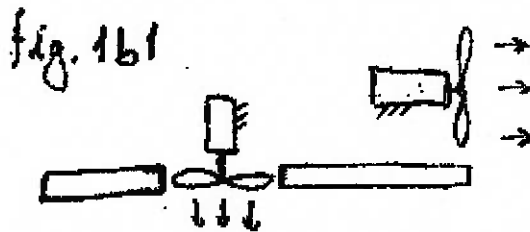
característica:	peso:	Motor Elétrico:		Motor a Combustão Interna:		Turbina a Gás:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
nível de ruído	9	10	90	7	63	6	54
baixo custo	9	7	63	10	90	6	54
relação peso/potência	10	5	50	7	70	9	90
consumo (km/\$ combustível)	7	9	63	8	56	7	49
facilidade de operação	7	9	63	8	56	6	42
risco de operação	8	9	72	9	72	7	56
baixo custo de manutenção	8	7	56	9	72	5	40
facilidade de manutenção	7	7	49	8	56	5	35
emissão de poluentes	7	9	63	7	49	5	35
autonomia	7	7	49	9	63	8	56
TOTAL ($\Sigma N * P$)		618		647		511	

Autonomia: esse é atualmente o grande desafio da indústria da mobilidade quanto ao motor elétrico, que oferece tantas outras vantagens sobre os motores com queima de combustível. A dificuldade de armazenagem de energia elétrica em quantidades satisfatórias exige estruturas de elevado peso e volume (baterias) e assim, ainda é um ponto crítico apesar de tantos avanços e investimentos em tecnologia para melhorá-lo. Quanto às turbinas à gás, o consumo é excessivo, e portanto exige grandes reservatórios de combustível.

Conclusão: fica pré selecionado o motor a combustão interna como motorização do projeto do hovercraft, com um resultado acumulado de 584 pontos. Entretanto, a motorização elétrica somou 569 pontos, o que significa uma diferença bastante pequena para a solução escolhida. Assim, esta motorização pode vir a ser considerada no decorrer do projeto, caso a escolhida venha a apresentar algum inconveniente até aqui não observado. Notamos que a motorização por combustão interna obteve maior pontuação graças a aspectos de cunho prático, e a motorização elétrica obteve boa soma de pontuação graças a aspectos de cunho operacional (baixo ruído e facilidade de operação).

2.1.b. CONFIGURAÇÃO DA MOTORIZAÇÃO:

Este quesito visa escolher a melhor solução para a conformação da motorização no hovercraft. Ou seja, temos duas funções a serem cumpridas pelos motores: a sustentação, e a propulsão. Estas funções tem distintas direções de vazão de ar, que são respectivamente vertical e horizontal. Durante toda a etapa de estudo de sistemas e sub-sistemas, não devemos perder de vista a proposta inicial do projeto. Logo, quando pensamos em direção de fluxo de ar, não podemos nos esquecer da proposta de plena manobrabilidade do veículo, que subentende direcionamento múltiplo do fluxo de ar, de alguma maneira. Assim, estas funções podem ser cumpridas de duas formas: por dois motores independentes (fig. 1b1), cada um posicionado na direção de sua função (propulsão / sustentação); ou apenas um motor, cuja fluxo de ar é dividido e direcionado para sua função. Ainda assim, sendo apenas um motor, qual deve ser sua posição (vazão horizontal -fig. 1b2, vertical -fig. 1b3, ou diagonal -fig. 1b4) ? Podemos também fixar um motor com fluxo horizontal para propulsão, em uma base giratória móvel (fig. 1b5). Portanto, serão estas as opções de solução.



(VISTAS
LATERAIS)

Matriz de decisão da CONFIGURAÇÃO DA MOTORIZAÇÃO:

característica:	peso:	Dois Motores:		Um motor fluxo horizontal:		Um motor fluxo vertical:		Um motor fluxo diagonal:		Um motor fluxo horiz., Base artic:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
baixo custo de motorização	9	5	45	9	81	9	81	9	81	8	72
baixo custo e facilidade de disposição	8	5	40	9	72	9	72	8	64	5	40
espaço físico ocupado pelo sistema de motorização	7	5	35	8	56	7	49	7	49	8	56
baixa perda de carga	6	9	54	8	48	6	36	7	42	8	48
flexibilidade de deflexão do fluxo (360 graus)	8	8	64	5	40	8	64	7	56	9	72
TOTAL ($\Sigma N * P$)		238		297		302		292		288	

Os critérios de avaliação serão: baixo custo de motorização, baixo custo e facilidade de disposição, espaço físico ocupado pelo sistema de motorização, baixa perda de carga, e flexibilidade de deflexão do fluxo. Vejamos agora, os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz a seguir, para cada solução:

Custo de motorização: apenas avalia o custo de aquisição de um ou dois motores.

Custo e facilidade de disposição: dois motores, ou a disposição na diagonal, acarretam em uma maior complexidade de estruturas e fixações.

Espaço físico ocupado pelo sistema de motorização: hélices com fluxo verticalizado ocupam maior espaço físico na plataforma do veículo.

Baixa perda de carga: apresentaremos aqui o início do conceito de ‘velocidade x pressão’, que será amplamente discutido adiante. A propulsão do veículo se dá por deslocamento de massa de ar, e por isso, exige velocidade e alta vazão de ar. A sustentação do veículo se dá por pressão no colchão de ar sob a plataforma, e assim, exige alta pressão e pouca vazão. Podemos ‘cambiar’ entre pressão e velocidade através da modificação da área da seção do conduto do ar. Porém, para se ter velocidade alta sem prejudicar a vazão, é ideal que o fluxo seja obtido diretamente da hélice, sem precisar ser estrangulado, o que prejudicaria a vazão. Portanto, as hélices de fluxo horizontalizado beneficiam este critério.

Flexibilidade de deflexão do fluxo: as hélices de fluxo verticalizado beneficiam este critério, uma vez que com uma deflexão de noventa graus no fluxo de ar destas, podemos obter saídas para todos os lados. Uma exceção a isso, é um projeto adotado na travessia do Canal da Mancha, onde os motores de fluxo horizontal têm suas bases inteiras redirecionáveis no eixo vertical. Esta solução exige uma enorme complexidade e custo de mecanismos articulados.

Conclusão: observamos que o critério ‘flexibilidade de deflexão do fluxo (360 graus)’, que é o que permite o pré requisito de plena manobrabilidade, gerou um diferencial substancial a favor das disposições de fluxo verticalizado, pois esta disposição facilita a deflexão do fluxo para qualquer lado do veículo. A ausência deste critério mudaria drasticamente a escolha da solução adotada, que será a de fluxo vertical.

2.1.c. DIVISÃO DO FLUXO DE AR:

Uma vez que temos no hovercraft duas funções a serem cumpridas pelo ar em deslocamento (propulsão e sustentação), devemos estudar a maneira de gerar estes dois fluxos de ar.

Seria ideal se pudéssemos ter um controle independente da intensidade de cada um destes fluxos. A propulsão sendo aumentada ou diminuída de acordo com o comando do operador, desejando mais ou menos propulsão em determinada direção, sem que nenhum outro parâmetro seja alterado como consequência deste comando. E a sustentação sendo incrementada ou decrementada ao comando do operador ao desejar 'levantar' ou 'abaixar' o veículo (por características do terreno mais ou menos acidentado, com mais ou menos obstáculos, ou para ganhar de estabilidade, como será visto adiante).

Utilizando dois motores, um para propulsão e outro para sustentação, conseguimos o desejado controle independente dos fluxos, porém já vimos a inviabilidade de se utilizar dois motores no item 1.a, principalmente graças ao elevado custo desta solução.

Utilizando apenas um motor, surge então o problema de se dividir o fluxo de ar deste motor para a execução das duas funções. Daí, buscaremos respostas para:

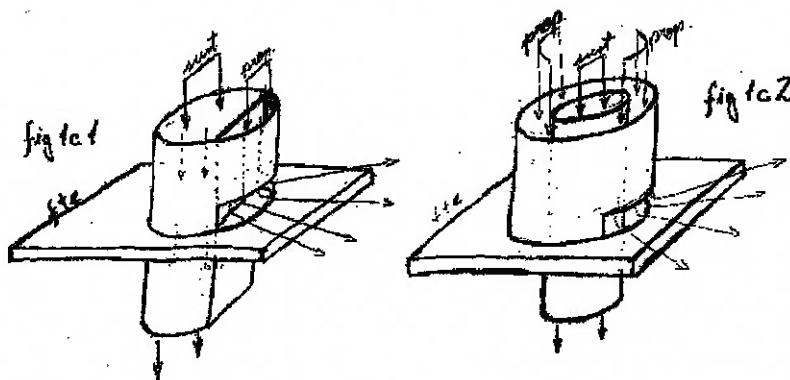
Como realizar fisicamente esta divisão?

Em que proporções para cada função?

É possível se obter o desejado controle independente para cada função utilizando apenas um motor?

Vamos nos ater neste tópico em soluções para realizar esta divisão fisicamente, e em criar maneiras de se fazer o controle independente dos fluxos com o uso de apenas um motor. O estudo das proporções entre os fluxos será feito mais adiante no item 2.2, pois não tange um estudo de soluções mas sim de cálculos sobre a solução que aqui encontraremos. Lembrando que já foi feita a opção pelo fluxo vertical, esta característica deve ser considerada próximas decisões.

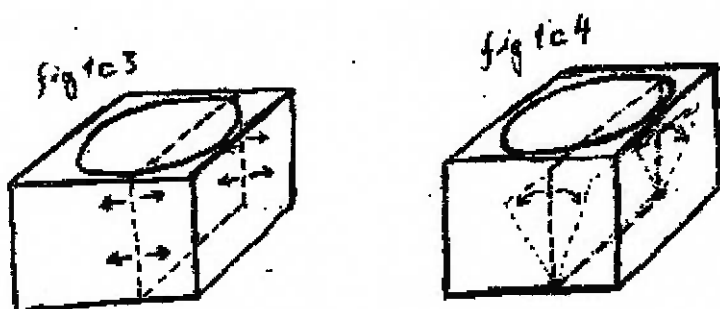
A divisão dos fluxos parte da forma geométrica do gerador de fluxo de ar, a hélice em movimento, formando um círculo. Podemos então, impor a divisão do fluxo com uma reta, a corda do círculo (fig. 1c1), ou com círculos concêntricos (fig. 1c2).



A única diferença funcional entre estas duas soluções está na perda de carga, pois uma vez que o fluxo de ar proveniente da hélice assume um formato de espiral, a divisão por uma reta quebra drasticamente a direção das linhas de corrente gerando perda de carga. Já a divisão concêntrica não apresenta esse inconveniente. Entretanto, a perda de carga citada na divisão anterior ocorre na deflexão do fluxo para os lados, que surge logo após a divisão do fluxo. Assim, não temos critério de escolha que seja classificatório para estas opções de solução, a não ser a conveniência geométrica de acordo com o lay-out geral do projeto, que não está definido ainda.

O controle independente da intensidade dos fluxos de propulsão e sustentação utilizando apenas um motor, pode ser realizado variando-se a posição do divisor de fluxo, de forma a mudar as proporções entre as seções de tomada dos fluxos.

No caso da divisão retilínea, o divisor de fluxo variável poderia ser feito movimentando-se a placa divisora, transladando-a (fig. 1c3) ou por uma variação angular (fig. 1c4). A largura da placa mudaria em cada nova posição uma vez que esta é a corda da tomada circular de ar. Isso seria de extrema complexidade de se realizar, a não ser que sob a tomada circular, tivéssemos um duto de seção quadrada que não exigiria variação da largura da placa, mas produziria perdas de carga adicionais.



No caso da divisão concêntrica, o divisor de fluxo variável poderia ser feito alterando-se o diâmetro da circunferência interna, o que subentenderia a elaboração de um complexo e custoso sistema tipo diafragma como os de câmeras fotográficas (fig. 1c5).



Ambas soluções de divisor de fluxo variável são possíveis, com a ressalva de que os sistemas envolvem mecanismos e consequentemente, um aumento de custo no projeto. Poderíamos ainda, automatizar a posição do divisor de fluxo variável, de forma a manter a altura em uma posição escolhida pelo operador, qualquer que seja a rotação do motor (consequentemente, a vazão total de ar) alterada para aumentar ou diminuir a propulsão, através de um sistema eletrônico.

Conclusão: qualquer uma das duas soluções deste quesito, entre a divisão retilínea (com ou sem divisor de fluxo variável automático ou não) e a divisão concêntrica (com ou sem divisor de fluxo variável automático ou não) são possíveis, e a decisão de escolha depende de estudos futuros de layout e viabilidade de custo (para os divisores variáveis). Assim, não faremos matriz de solução neste quesito.

2.1.d. DISPOSITIVOS DE PROPULSÃO:

A propulsão do hovercraft, uma vez escolhido o motor a combustão interna, é feita através da rotação de uma hélice. Como selecionamos a opção de utilizar apenas um motor, a propulsão será proveniente de parte do fluxo de ar gerado por essa hélice.

Ainda assim, a propulsão pode ser gerada pelo fluxo direto da hélice, no caso de termos motor com fluxo horizontal, ou por fluxo indireto da hélice, ou seja jato de ar indireto, no caso de termos motor com fluxo diagonal ou vertical, configurações que exigem deflexão do fluxo de ar da hélice para dirigir o ar para as direções horizontais de propulsão.

Porém, como a opção pela configuração da motorização já foi feita e concluímos por utilizar um motor de fluxo vertical, fica selecionada neste quesito a propulsão por jato de ar indireto.

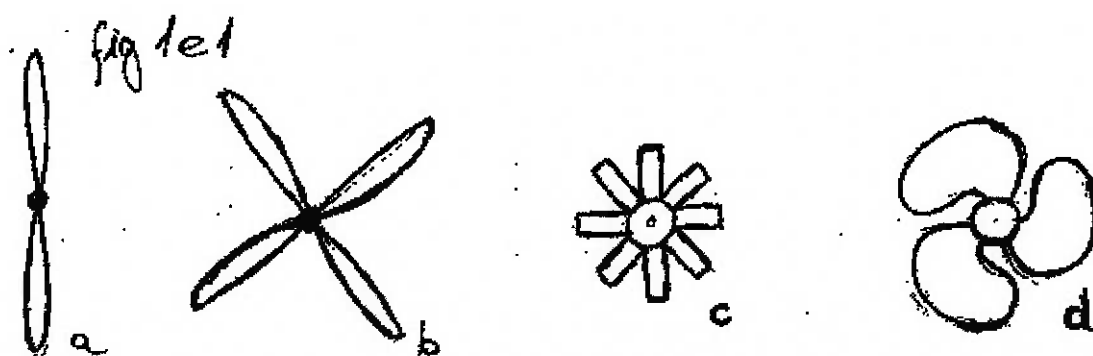
2.1.e. TIPO DE HÉLICE A SER UTILIZADA:

A escolha do tipo de hélice deve ser feita buscando o melhor rendimento na transmissão de energia do sistema: combustível → motor → caixa da redução → hélice → ar em movimento → fluxo de ar pelos dutos. Em todas essas etapas da transmissão de energia teremos perdas. Até a hélice, os rendimentos são bastante conhecidos e facilmente estimados. A partir da hélice, temos que fazer um estudo de Aerodinâmica (na hélice) e outro de Mecânica dos Fluidos (dutos) para prever o comportamento da energia ao longo do sistema e tomar as melhores decisões nas escolhas de componentes e dimensionamento dos elementos. Como este projeto se propõem a encontrar uma solução para uma proposta complexa que envolve diversos sistemas, não vamos nos ater nesta etapa do projeto ao estudo minucioso de cada componente dos sistemas (projeto da hélice, estudo detalhado do comportamento do fluido em cada etapa dos dutos), mas vamos sim fazer um estudo mais descritivo dos sistemas de modo que consigamos com isso conhecê-los ao ponto de conseguir coordenar a combinação deles, chegando no hovercraft completo.

Neste quesito, devemos escolher dentre os tipos de hélice mais usuais (fig. 1e1), aquela que melhor se adapta às nossas necessidades:

(fig. 1e1)

A hélice 1e1a mostra o que conhecemos como hélice de avião (fina e longa), de duas pás. Este tipo de hélice também é utilizado nos helicópteros no rotor principal, onde é chamada de 'asa rotativa'.



A hélice 1e1b segue a mesma idéia da anterior, porém utilizando quatro pás.

O modelo da hélice 1e1c, apresenta várias pás, proporcionalmente mais curtas e largas. Geralmente é encontrado em sopradores e ventiladores industriais, ou nos conhecidos ‘fans’ de turbinas a jato, que comprimem ar nas câmaras.

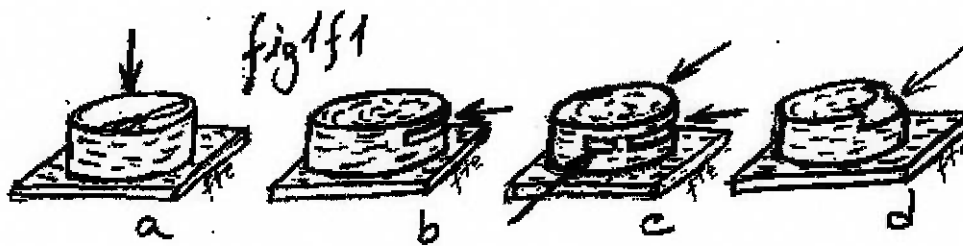
Finalmente, a hélice 1e1d, aquela de poucas pás (2 ou 3) bastante largas, é observada em ventiladores residenciais, ventiladores de teto de bar, e mesmo como hélices de propulsão de barcos.

Por quê a escolha dos diferentes tipos de hélices citados, em cada aplicação mencionada?

A hélice é na verdade uma asa, e assim, para selecioná-la faremos um breve estudo de aerodinâmica em asas, o que será feito no item II.2 Modelagem do Projeto. Então a escolha da melhor solução de hélice só poderá ser concluída adiante.

2.1.f. DIREÇÃO DA ENTRADA DE AR:

Como citado no Estudo de Viabilidade, a direção da entrada de ar pode se dar pela parte superior do veículo (fig. 1f1a), pela frente (fig. 1f1b), pelas laterais e frente (fig. 1f1c), ou de forma diagonal - intermediária à duas anteriores (fig. 1f1d). Serão estas então nossas opções de solução neste quesito. A escolha por um desses modos independe da Configuração da Motorização já adotada (um motor de fluxo vertical), pois podemos fazer as tomadas de ar para este motor em qualquer direção.



Utilizaremos os seguintes critérios de avaliação: facilidade de entrada de ar em retas, facilidade de entrada de ar em curvas, facilidade de entrada de detritos, e facilidade e custo de disposição física (com motor de fluxo vertical).

Vejam agora, os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz a seguir, para cada solução:

Facilidade de entrada de ar em retas: para explicar as considerações deste item, tomaremos o caso da entrada de ar apontar para a frente do veículo. Se este estiver se movimentando para frente, e o veículo se deslocar a altas velocidades ocorrerá uma situação bastante vantajosa pois teríamos o efeito do 'Ram Air', onde a velocidade do próprio veículo oferece uma velocidade positiva de entrada de ar no ventilador (hélice), e temos então este adicional de energia na saída do ventilador. Ou seja à medida que a velocidade do veículo aumenta, temos uma retroalimentação positiva no trabalho do ventilador, podendo chegar a atingir o que se chama de "hump speed", situação na qual pode-se desligar o ventilador de sustentação, pois a velocidade de entrada do ar pela tomada de ar frontal gera por si própria, pressão suficiente no colchão de ar, para manter o veículo levantado. Se a tomada de ar se der por cima, esses benefícios não podem nunca serem alcançados.

Matriz de decisão da DIREÇÃO DA ENTRADA DE AR:

característica:	peso:	Entrada de ar superior:		Entrada de ar pela frente:		Entrada de ar pela frente e laterais:		Entrada de ar diagonal:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
facilidade de entrada de ar em retas	7	5	35	9	63	7	49	6	42
facilidade de entrada de ar em curvas	7	9	63	5	35	9	63	6	42
facilidade de entrada de detritos	4	8	32	6	24	5	20	7	28
facilidade e custo de disposição física	9	9	81	7	63	8	72	8	72
TOTAL ($\Sigma N * P$)		211		185		204		184	

Facilidade de entrada de ar em curvas: o hovercraft é um veículo que apresenta como grande diferencial perante os demais veículos, uma virtude que é ao mesmo tempo o seu maior gerador de conflitos: a ausência de atrito com o solo. Esta virtude, que é tão desejada para se eliminar o arrasto dos barcos e as perdas de energia na transmissão do movimento dos carros e caminhões, é também o fato gerador da execução de curvas e frenagens. Sem atrito com o solo, essas duas ações se tornam extremamente complicadas! Assim, os hovercrafts costumam iniciar as manobras de curva com uma grande antecedência, dando o que se conhece por ‘cavalo de pau’ até que a inércia do movimento na direção inicial seja vencida pelo fluxo de ar na nova direção. E é este o ponto crítico da entrada do ar (em curvas) quando a tomada de ar se dá por um dos lados do veículo (frente, traseira, ou laterais). Se a tomada de ar se dá pela frente do veículo, durante a curva, ela passa a se localizar a jusante do fluxo de ar, ou seja na zona de baixa pressão, e existe o risco do ventilador simplesmente não disponibilizar de ar na sua entrada, perdendo toda a vazão seja para sustentação, seja para propulsão. Se perderia neste caso o controle do veículo. Com a entrada de ar pela parte superior do veículo ou por todas laterais do mesmo, isso não ocorreria.

Facilidade de entrada de detritos: neste critério de avaliação consideraremos a entrada de detritos nos dutos do ventilador, graças ao encontro do veículo com estes detritos durante o movimento do veículo. Assim, todas as soluções que apresentarem entrada de ar pela frente e laterais, ficam prejudicadas. Pode-se entretanto tomar simples medidas preventivas à entrada de detritos, como a instalação de uma tela de malha fina na entrada dos dutos. Por isso, o peso deste critério é baixo.

Facilidade e custo de disposição física (com motor de fluxo vertical): uma vez que já foi feita a opção pelo motor de fluxo vertical, a tomada de ar por cima ou na diagonal apresenta maior facilidade de implementação. Tomadas de ar pela frente ou pelos lados implicariam em uma adaptação que conforme a solução geométrica adotada no veículo, pode ou não ser de alto custo.

Conclusão: de acordo com a matriz de soluções, fica pré selecionada a entrada de ar pela parte superior do veículo, por pequena diferença de pontuação com a entrada de ar pela frente e laterais. Basicamente, a vantagem mais expressiva da solução por cima foi a redução de custo que ela oferece. Lembremos que todas as soluções propostas devem ter a preocupação com a segurança dos ocupantes do veículo, e considerar a instalação de uma tela na tomada de ar, isolando a hélice em movimento do alcance dos ocupantes, além de evitar a entrada de detritos.

2.1.g. DISPOSITIVOS DE MANOBRABILIDADE:

A ausência de atrito com o solo exige que busquemos modos criativos para se alterar a direção do movimento do hovercraft. A intenção aqui é conseguir que o operador possa manobrar o hovercraft e fazer curvas com segurança, presteza, e precisão, seguindo a trajetória desejada, sem perder o controle do veículo, em qualquer velocidade. É claro que à medida que o veículo desenvolve maior velocidade, seu momento e inércia dificultam a alteração da trajetória, como podemos observar nos carros. Nessa situação devemos fazer curvas mais 'abertas' para evitar que o carro 'derrape' lateralmente. Temos em mente que será muito difícil alcançar no hovercraft, a presteza que um carro apresenta em curvas pois não temos atrito com o solo. Porém, devemos chegar a uma solução que se enquadre dentro de limites de segurança e eficácia. De nada nos servirá um veículo que por exemplo a 30 km/h só consiga fazer uma curva de 90 graus com um raio de 100 metros.

Encontraremos uma solução neste quesito, porém apenas testes de campo poderão nos dar a resposta da eficácia da solução. Este teste será realizado adiante, na sequência deste trabalho.

Definamos então, os limites desejados. Para tal, vamos utilizar as normas SAE (Society of Automotive Engineers) para dinâmica de veículos, considerando o hovercraft como um carro sobre piso com gelo. Assim, temos coeficiente de atrito 0,1 e utilizaremos a expressão:

$$v = 11.28 \sqrt{\mu_r r_k} \quad (km/h)$$

E obtemos os seguintes resultados para os raios máximos de curva:

velocidade (km/h)	máximo raio de curva (m)
20	6.2
50	39
80	100
110	190

As opções de solução que levantamos são: rodas ou patins retráteis; lemes; lemes aliados a hélices com pás de passo variável; hélices direcionáveis; jatos de ar.

Estas soluções serão comparadas através dos seguintes critérios de avaliação: baixo custo; facilidade de implementação física; facilidade no manejo; baixo custo de manutenção; eficácia.

Matriz de decisão dos DISPOSITIVOS DE MANOBRABILIDADE:

característica:	peso:	rodas ou patins retráteis:		lemes:		lemes e hélices passo variável:		hélices direcionáveis:		jatos de ar:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
baixo custo	9	5	45	9	81	5	45	6	54	8	72
facilidade de implementação física	7	5	35	8	56	7	49	6	42	8	56
facilidade no manejo	8	9	72	6	48	7	56	8	64	8	64
baixo custo de manutenção	8	5	40	8	64	6	48	6	48	8	64
eficácia	9	9	81	6	54	7	63	8	72	8	72
TOTAL ($\Sigma N * P$)		273		303		261		280		328	

Vejamos agora a descrição de cada uma das soluções e os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz a seguir, para cada uma das soluções:

Rodas ou patins retráteis: partindo do mesmo princípio dos carros, teremos um elemento sólido em contato com o solo e com uma variação angular em relação à direção do deslocamento do veículo. Ou seja, podemos utilizar algo como esquis, ou rodas que no momento de realizar uma curva, descem do corpo do veículo através de mecanismos retráteis, entrando em contato com o solo e podendo ser direcionados com uma variação angular, promovem a curva na trajetória do veículo. Essa solução seria bastante eficaz e de fácil manejo mas exige um complexo e resistente mecanismo de retração dos patins (ou rodas), que sofreriam um acentuado desgaste exigindo manutenção constante, e incrementaria significativamente o peso do veículo.

Lemes: através da deflexão do fluxo de ar de propulsão num campo restrito a aproximadamente 120 graus (60 para cada lado), promovem a rotação do veículo em torno de seu eixo vertical e a partir daí, com deslocamento ainda na direção da trajetória inicial mas com sua frente apontada para a nova direção desejada, o fluxo propulsor impele o veículo para esta nova direção. Encontramos aqui uma complexa composição de movimentos pois a componente da direção inicial não é anulada enquanto o veículo não impelir seu fluxo contra esta direção inicial, o que só ocorre com o veículo voltando sua frente contra a direção inicial por alguns segundos. Esta solução é de simples implementação, porém de eficácia discutível.

Lemes aliados a hélices com pás de passo variável: resolvem na solução anterior, a questão de anular a componente da direção inicial através da reversão do fluxo de ar. Apresenta as mesmas características dos lemes simples, com desvantagem no custo e vantagem na facilidade de manejo.

Hélices direcionáveis: as hélices de propulsão seriam direcionadas para qualquer lado do veículo, gerando o fluxo de propulsão desejado. Para tal, as hélices de propulsão e seus respectivos motores devem poder girar em torno do próprio eixo vertical, o que exige um simples mas robusto mecanismo e uma desvinculação rígida de todas as conexões do motor ao veículo (tubos de combustível, parte elétrica, etc). Aparentemente de boa eficácia, exigiria testes práticos para respostas mais concretas. Entretanto, esta solução fica descartada no nosso caso uma vez que já fizemos a escolha por hélices de fluxo vertical e esta solução direciona hélices de fluxo horizontal.

Jatos de ar: através de um direcionador do fluxo de ar de propulsão, obtém-se vazão para qualquer lado do veículo, e esta vazão poderia ser controlada com a graduação da abertura da saída do jato de ar. Funcionalmente segue o mesmo princípio das hélices direcionáveis, e a eficácia deve ser bastante semelhante, exigindo também testes práticos de campo. É uma solução possível e compatível com as decisões tomadas até agora. Os direcionadores do fluxo de ar podem ser os dutos de ar que se movem apontando para a direção desejada ou simplesmente janelas que se abrem no lado que se deseja o fluxo de ar.

Conclusão: a solução de manobrabilidade por jatos de ar fica pré classificada com uma boa diferença de pontos em relação às demais. A solução por lemes, usualmente adotada nos projetos de hovercrafts ficou em segundo lugar pois ficou significativamente em desvantagem nos critérios 'facilidade de manobrabilidade' e 'eficácia'. Porém, a avaliação do critério 'eficácia' foi muito subjetiva, devendo a solução selecionada ser submetida a ensaios em modelo analógico-funcional para verificar sua adequação às normas SAE citadas neste item.

2.1.h. LAY-OUT DO COLCHÃO DE AR:

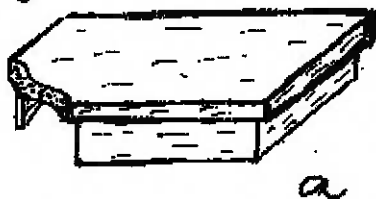
No Estudo de Viabilidade levantamos alguns aspectos relativos à formação do colchão de ar do hovercraft. Foram observadas diferenças possíveis quanto à rigidez da saia, quanto à direção de saída do ar, quanto ao formato da saia e conformação do colchão de ar. Agora neste quesito, nos cabe classificar e eliminar possibilidades destes quatro aspectos classificando em cada um deles a melhor opção, para compormos a melhor solução do lay-out do colchão como um todo.

As possibilidades quanto à rigidez da saia (rígida – fig. 1h1a, ou flexível – fig. 1h1b) ofereciam os seguintes critérios de avaliação:

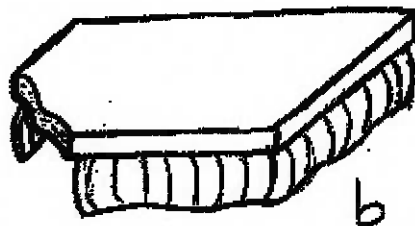
- resistência a impactos (a flexível é maleável, logo, resistente);
- facilidade de construção (a rígida oferece maior facilidade por se tratar apenas de uma placa de fibra de vidro);
- constância da fresta -* (a rígida oferece fresta constante em terrenos totalmente planos. A flexível corre o risco de apresentar um buraco na fresta se algo a levantar em algum ponto do perímetro, ocasionando perda momentânea de pressão de ar no colchão);
- conformação ao terreno (a flexível se conforma ao terreno mantendo sempre todo o perímetro da saia em contato com o terreno mesmo este sendo acidentado. Já a rígida apresentaria um buraco na fresta caso o veículo passasse por uma valeta, o que acarretaria na perda total da pressão de ar no colchão. Por se tratar de uma reta ao longo de toda a lateral do veículo, a saia rígida não permite ângulo de aclave nem de declive, pois isso também abriria um buraco na fresta e poderia até encalhar o veículo no terreno!);

Considerando o pré requisito do projeto de nosso veículo ser 'todo terreno', não podemos nos permitir dispor de um sistema de sustentação que exija um terreno perfeitamente plano e não suporte impactos de irregularidades e de acidentes do terreno. Assim, a saia rígida fica descartada.

fig 1h1



a



b

* fresta: espaço de saída da vazão do escoamento de sustentação por baixo da saia.

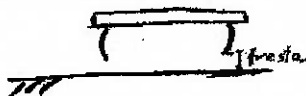
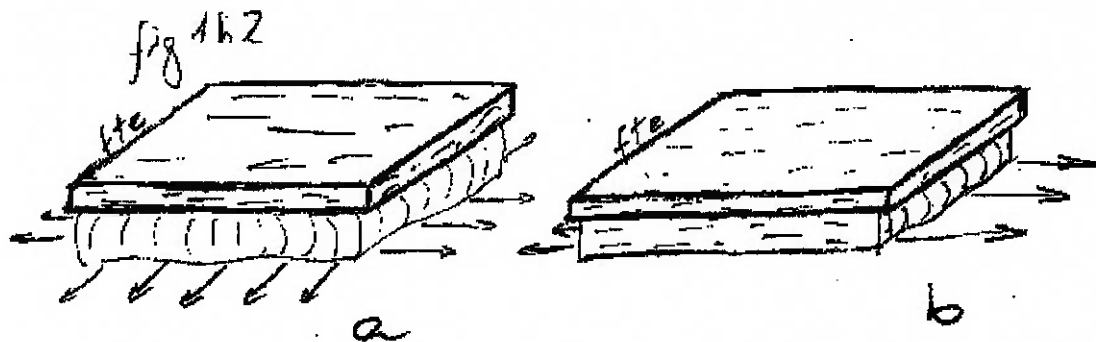


fig 1h1x

As possibilidades quanto as direções de saída do ar pela fresta (saída de ar por todo perímetro – fig. 1h2a, ou pelos extremos – fig. 1h2b) ofereciam os seguintes critérios de avaliação:

- aplicação terrestre (a saída por todo perímetro permite aplicação terrestre e a saída pelas extremidades não, pois nesta considera-se que as laterais rígidas ficam em contato constante com a água impedindo a saída de ar e servindo de guia no manobrabilidade)
- simplicidade e custo de fabricação (a saída pelas extremidades é de construção bastante mais simples e econômica)
- potência exigida do motor (a saída pelos extremos exige menos potência pois apresenta menos área de fresta e conseqüente menor perda de pressão)

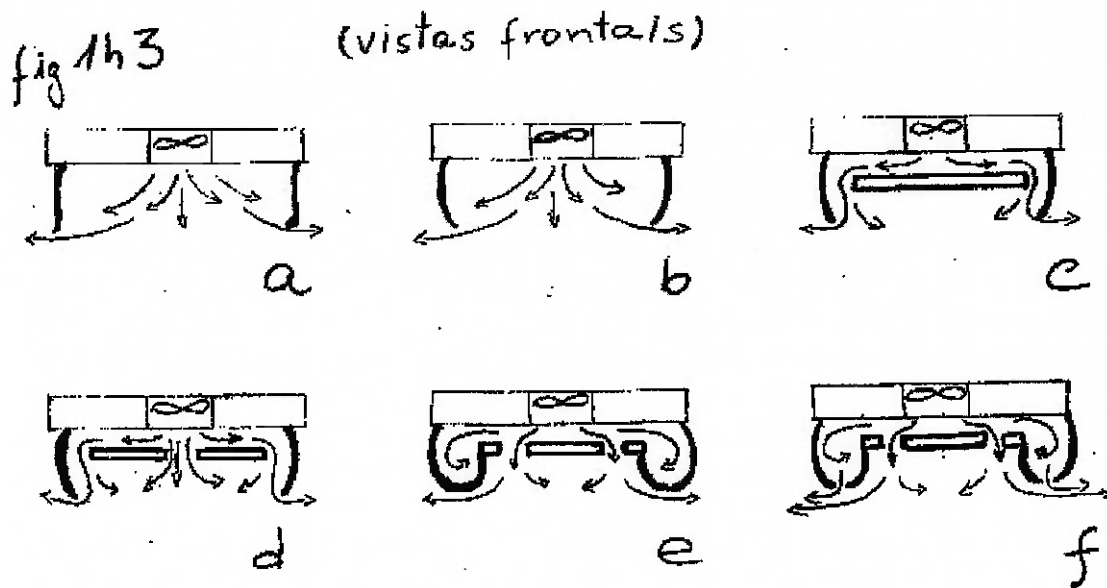
Novamente o pré requisito do projeto ser 'todo terreno' exclui diretamente uma das possibilidades, a de saída pelas extremidades, que não permite aplicação terrestre.



O formato da saia e a conformação do colchão de ar são definidos conjuntamente nas seguintes opções de solução:

- câmara aberta – fig. 1h3a
- câmara aberta com aleta – fig. 1h3b
- câmara com jato de ar simples – fig. 1h3c
- câmara com jato de ar simples e saída central – fig. 1h3d
- câmara com jato de ar e saia insuflada fechada – fig. 1h3e
- câmara com jato de ar e saia insuflada vazada – fig. 1h3f

Estas opções já foram levantadas de acordo com as duas restrições que fizemos acima: saia flexível e saída de ar por todo o perímetro.



As câmaras abertas e as câmaras com jato de ar são as duas possibilidades básicas e em cada uma delas temos algumas variações possíveis como se vê na relação das opções de solução. Entretanto, genericamente elas apresentam características intrínsecas que já definem vantagens e desvantagens:

	Câmara Aberta:	Câmara com Jato de Ar:
vantagens	<ul style="list-style-type: none"> -conformação simples -exige menor pressão do ventilador -colchão ocupa todo o volume sob o casco (boa altura livre) 	<ul style="list-style-type: none"> -maior fresta (para dada potência) -dutos menores (para dada fresta)
desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> -menor fresta (para dada potência) -dutos maiores (para dada fresta) 	<ul style="list-style-type: none"> -conformação mais complexa -mais dutos definidos (mais peso e custo) -exige alta pressão do ventilador graças à maior perda de carga (mais vibração e ruído) -placa divisora ocupa volume do colchão diminuindo a altura livre do casco**

Teremos os seguintes critérios de avaliação: baixo custo de fabricação; baixo custo de manutenção; facilidade de manutenção; eficiência na sustentação; estabilidade em curvas; estabilidade em frenagens; amplitude e constância da fresta; desempenho em transpassar obstáculos (mantém pressão).

Vejamos agora os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz a seguir, para cada solução:

Baixo custo de fabricação: as soluções mais simples (as com câmara aberta) apresentam custo mais baixo por utilizarem menos material e menos tempo de montagem. Assim, as soluções com jato de ar simples são mais custosas e as com jato de ar e saia insuflada custam ainda mais pois requerem mais tempo de montagem.

Baixo custo de manutenção: as soluções com câmara aberta apresentam o menor custo de manutenção pois são mais simples e com menos elementos. As soluções com jato de ar simples tem a manutenção mais custosa apenas por apresentarem mais elementos que podem dar manutenção (placa divisora). As soluções com saia insuflada têm manutenção mais custosa ainda pois em caso de fricção da saia com o solo, a possibilidade de rompimento do material da saia é maior pois a saia está toda tensionada. A situação é mais grave na saia insuflada vazada pois os furos são regiões de concentração de tensão do tecido, o que facilita o início do rompimento.

Facilidade de manutenção: segue a ordem soluções com câmara aberta / jato de ar simples / saia insuflada, pois assim aumenta também a complexidade dos sistemas. As duas soluções com saia insuflada apresentam a mesma facilidade de manutenção.

Eficiência na sustentação (peso que suporta): mede a eficiência da manutenção da pressão de ar no colchão, sem que o veículo sofra acelerações (parado ou em movimento uniforme), mesmo havendo movimentação de massa sobre a plataforma do veículo (deslocamento do Centro de Gravidade no plano da plataforma). Este critério não é mensurável nem avaliável analiticamente pois sua simulação matemática se torna extremamente complexa uma vez que a ocorrência de turbulências e perdas de carga ao longo de todas as linhas de corrente são imensuráveis e tornam sem efeito qualquer modelo matemático que se queira fazer. Assim, tanto este critério de avaliação assim como os seguintes, exigem uma avaliação dinâmica e não podem ser classificados sem que seja feito um ensaio em um modelo de analogia funcional, que chamaremos de modelo analógico-funcional. Isso será feito adiante, no item 2.3 deste Projeto Básico.

* altura livre do casco: espaço entre a parte rígida mais baixa do veículo e o solo.

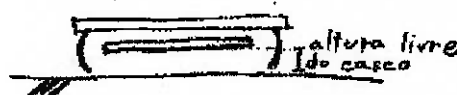


fig 1h3x

Matriz de decisão do LAY-OUT DO COLCHÃO DE AR:

característica:	peso:	câmara aberta:		câmara aberta com aleta:		câmara com jato de ar simples:		câmara c/ jato ar simpl saíd centr:		câmara c/ jato ar saia insufi fech:		câmara c/ jato ar saia insufi vazd:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
baixo custo de fabricação	9	9	81	8	72	7	63	7	63	6	54	6	54
baixo custo de manutenção	7	9	63	9	63	8	56	8	56	7	49	6	42
facilidade de manutenção	7	8	56	8	56	8	56	8	56	8	56	8	56
eficiência na sustentação	9	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0
estabilidade em curvas	8	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0
estabilidade em frenagens	7	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0
amplit. e constância da fresta	8	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0
desempenho em transpassar obstáculos (mantém pressão)	7	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0	?	0
TOTAL ($\Sigma N * P$)		200		191		175		175		159		152	

Estabilidade em curvas: desempenho do veículo em curvas quanto à perda de pressão de ar do colchão. Exige ensaio em um modelo analógico-funcional como explicado acima.

Estabilidade em frenagens: desempenho do veículo em frenagens quanto à perda de pressão de ar do colchão. Exige ensaio em um modelo analógico-funcional como explicado acima.

Amplitude e constância da fresta: quanto maior a fresta para uma dada potência de motor, menor é a possibilidade da saia atritar o solo na ocorrência de obstáculos ou irregularidades do terreno. O lay-out do colchão de ar deve manter esta fresta o mais constante possível por questões de conforto dos ocupantes e estabilidade do veículo. Exige ensaio em um modelo analógico-funcional como explicado acima.

Desempenho em transpassar obstáculos: comportamento da saia como um todo (quanto à perda de pressão do colchão, flexibilidade da geometria da saia) ao transpassar obstáculos e irregularidades do terreno. Exige ensaio em um modelo analógico-funcional como explicado acima.

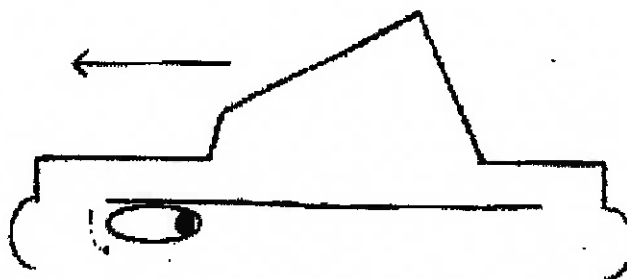
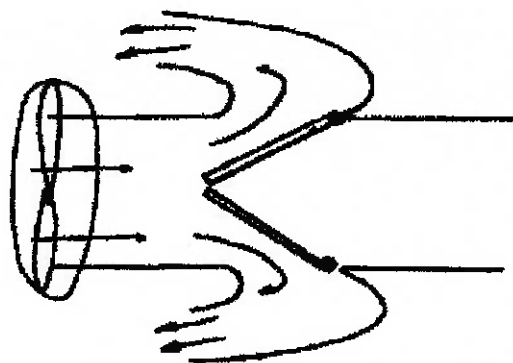
Portanto, este quesito não pôde chegar a uma conclusão pois muitas das avaliações só serão concretizadas nos ensaios do modelo analógico-funcional. Após estes ensaios, completaremos a matriz de soluções, obtendo o lay-out de colchão de ar ideal para o projeto.

2.1.i. DISPOSITIVOS DE FRENAGEM:

A frenagem do hovercraft apresenta as mesmas dificuldades que pudemos notar na manobrabilidade: a ausência de atrito do veículo com o solo. E em se tratando de um veículo, com pessoas a bordo, o fator segurança está diretamente ligado à capacidade de reduzir a velocidade de veículo quando assim se deseja ou se necessita. Novamente precisamos estabelecer limites de eficácia a serem atingidos. Para tal, buscamos as regulamentações legais da SAE para sistemas de freios em veículos automotores e a partir daí tiraremos uma referência. Essa regulamentação cita dentre vários outros tópicos muito específicos para veículos, as distâncias máximas de frenagem para várias categorias de veículos automotores, sob diversas situações, a partir de certas velocidades até a imobilidade. Na tabela abaixo destacamos estas distâncias para a frenagem do veículo mais pesado (caminhões), sob a pior circunstância (frenagem apenas com o sistema secundário do veículo, com o sistema primário de freios falhado), fornecendo a pior situação de frenagem regulamentada para veículos automotores. E serão estas as metas a serem atingidas por nosso hovercraft:

velocidade inicial (km/h)	distâncias de frenagem sistema primário (m)	distâncias de frenagem sistema secundário (m)
40	19.9	33.8
50	29.2	51.0
70	53.1	95.7

As opções de solução levantadas em nosso Estudo de Viabilidade foram: defletor reversor do fluxo de propulsão e came de atrito.



Matriz de decisão dos DISPOSITIVOS DE FRENAGEM:

característica:	peso:	defletor reversor do fluxo de propulsão:		came de atrito:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso
eficácia	9	6	54	9	81
baixo custo de fabricação	8	9	72	5	40
baixo custo de manutenção	7	9	63	6	42
pequeno peso do equipamento	8	8	64	6	48
facilidade de disposição física	7	8	56	6	42
TOTAL ($\Sigma N * P$)		309		253	

O defletor reversor do fluxo de propulsão como foi descrito no Estudo de Viabilidade não tem mais sentido em nosso projeto pois era aplicado sobre o fluxo horizontal de uma hélice com motor fixo. Nosso projeto já selecionou a solução de propulsão por jatos de ar indiretos e manobrabilidade também por jatos de ar de possível direcionamento para qualquer lado, como descrito no item 2.1.h. Assim, mantemos a idéia do defletor do fluxo de propulsão, mas aplicada pelo princípio do direcionamento dos jatos de ar. Não temos como avaliar a eficácia desta solução agora pois ainda não temos dados sobre vazão dos fluxos de ar. Entretanto teremos essa informação adiante e também faremos ensaios práticos para avaliar essa solução.

Associado a esta solução, temos a possibilidade de utilizar o método que se usa atualmente em qualquer hovercraft para frenagem: diminui-se a pressão do ar do colchão e o veículo abaixa atritando seu casco no solo e assim freando. É uma solução eficaz, porém traumática para a integridade física do veículo (sua estrutura, suas fixações) mesmo se utilizando longarinas substituíveis para desgaste sob o casco do veículo (longarinas de freio emergencial). Adotemos essa associação como recurso de frenagem de emergência.

O came de atrito é certamente uma solução de grande eficácia porém pagando o preço de um grande incremento no peso do veículo, no custo de projeto, no custo de manutenção e no custo de fabricação.

Crítérios de avaliação: eficácia; baixo custo de fabricação; baixo custo de manutenção; pequeno peso do equipamento; facilidade de disposição física.

Vejamos agora os motivos das notas atribuídas a cada critério na matriz, para cada solução:

Eficácia: verificação do atendimento às normas SAE citadas. É impossível de se avaliar esse critério por enquanto, sem os cálculos de vazão para a propulsão ou sem ensaios práticos.

Baixo custo de fabricação: a solução adotada para manobrabilidade facilita muito a aplicação da deflexão do fluxo de ar pois este sistema já está implementado no veículo. Assim seu adicional de custo é praticamente nulo. Já o came de atrito exige investimento de projeto e acréscimo de muitas peças e mecanismos.

Baixo custo de manutenção: os defletores de ar exigem apenas a lubrificação de peças móveis; já o came de atrito exige a troca periódica do elemento atritante.

Pequeno peso do equipamento: o defletor de fluxo pode ter seu lay-out otimizado de forma a até ser absorvido por outro sistema que cumpra sua função. Ou se isto não for possível, sua implementação é simples. O came de atrito exige todo seu mecanismo de atuação e sua robusta fixação.

Facilidade de disposição física: o hovercraft dispõe de todo seu volume de colchão livre para instalação de possíveis equipamentos. Entretanto, ocupando esta área perde-se na altura livre do casco ao chão. Este é um inconveniente do came de atrito, que o defletor não apresenta.

Conclusão: apesar de poder dispor da opção de freio emergencial por atrito do casco com o solo (longarinas de freio emergencial), não podemos ter uma posição conclusiva da eficácia (critério de maior relevância) do sistema de frenagem por defletor do fluxo de propulsão pois esta não pode ser avaliada ainda. Todavia, vamos pré-classificar esta solução pois ela por si só já é um incremento sobre o método utilizado hoje nos hovercrafts (apenas o atrito direto do casco com o solo) e apresenta custo bastante inferior ao sistema de cames. De qualquer forma, devemos submeter esta solução a ensaios em modelo analógico-funcional para verificar sua adequação às normas SAE citadas neste item.

2.1.j. DISPOSITIVOS DE ESTABILIDADE AO ROLL E AO PITCH:

PITCH:

No Estudo de Viabilidade foram levantadas possibilidades para melhoria da estabilidade do veículo ao pitch, ou seja, minimizar os movimentos indesejados do veículo em relação ao seu eixo transversal. Na ocasião foi feito um modelo funcional (fig. 1j1a) para se testar os conceitos básicos do funcionamento de um hovercraft. Este modelo seguiu em linhas gerais, o conceito dos hovercrafts mais usualmente encontrados na pesquisa do Apêndice I do Estudo de Viabilidade (fig. 1j1b), ou seja, motor de fluxo horizontal com defletor de ar para a sustentação, e saia em câmara aberta com aletas.



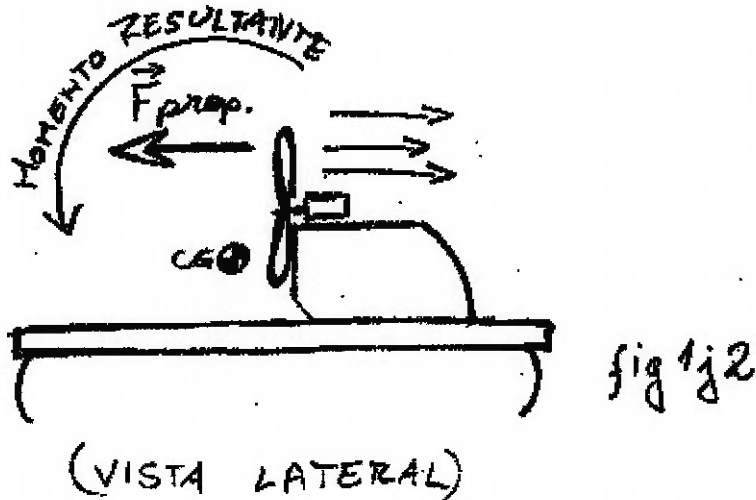
(fig. 1j1a)



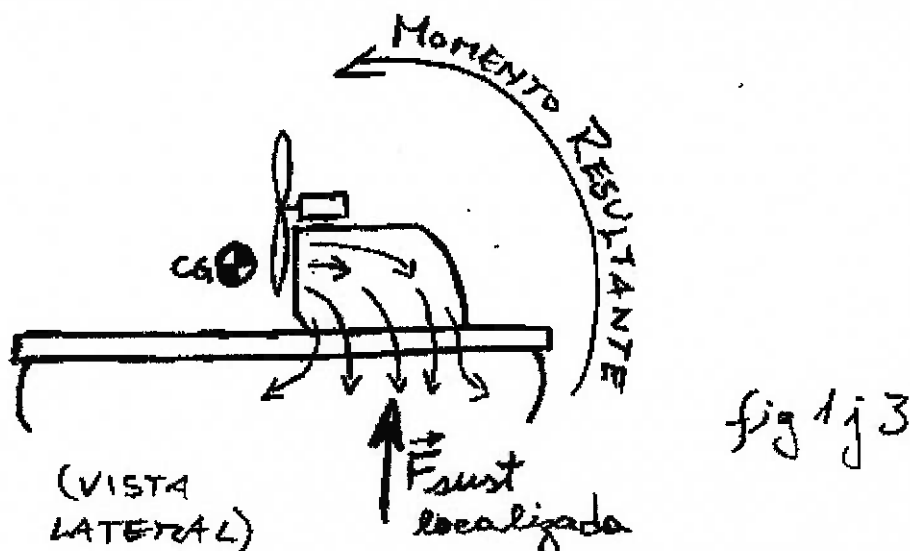
(fig. 1j1b)

Foram observados dois eventos indesejados em relação à estabilidade ao pitch:

- durante a aceleração do motor, o fluxo de ar de propulsão gerava um forte momento (da força de propulsão em relação ao Centro de Gravidade do veículo) no sentido de abaixar a frente do veículo, ao ponto de danificar a saia na região frontal (fig. 1j2).



- durante a aceleração o fluxo de ar de sustentação gerava além da pressão distribuída no colchão, uma força localizada no solo, na região de impacto direto deste fluxo no solo, elevando a parte traseira do veículo, criando um forte e indesejado giro de pitch e aumentando a fresta na região traseira do veículo, perdendo assim a pressão do colchão e quando o veículo retornava da súbita ascensão, sem pressão no colchão, colidia a traseira no solo (fig 1j3).



Na ocasião do Estudo de Viabilidade, propusemos a solução de instalar profundos (defletores de suave angulação para o fluxo de propulsão) na traseira do veículo, com

aumento de custo de fabricação, projeto de mecanismo, aumento na complexidade do sistema como um todo e do manuseio do operador.

Porém, nossas soluções até então encontradas neste Projeto Básico divergem da proposta do modelo do Estudo de Viabilidade, podendo oferecer novas problemáticas ou eliminando as que justo observamos. Temos agora um veículo com motor de fluxo vertical e com propulsão por jatos de ar indiretos.

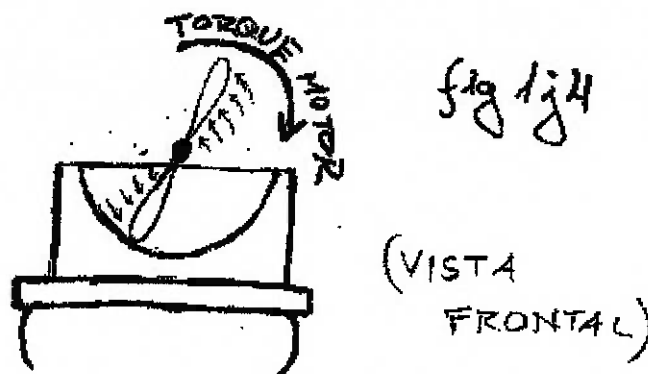
O ideal para eliminarmos a problemática do momento gerado pela força de propulsão acima do CG, seria se conseguíssemos um lay-out do sistema de propulsão onde os jatos de propulsão e de manobrabilidade estivessem na mesma cota do CG, eliminando assim os binários. Sendo o motor com fluxo vertical, já podemos fixá-lo em uma posição bem baixa no veículo pois o plano da hélice é na horizontal, e assim abaixamos bastante o CG.

Para eliminar a problemática da ascensão repentina da traseira do veículo, causada pela força localizada gerada pelo impacto direto e concentrado do fluxo de sustentação no solo, pode-se fazer a opção do lay-out de colchão de ar com câmara com jatos de ar (uso de uma placa que distribui o fluxo de sustentação da hélice pela periferia do veículo).

ROLL:

No modelo apresentado no Estudo de Viabilidade observamos também que a estabilidade ao roll (movimento ao redor do eixo longitudinal do veículo) estava prejudicada da seguinte forma:

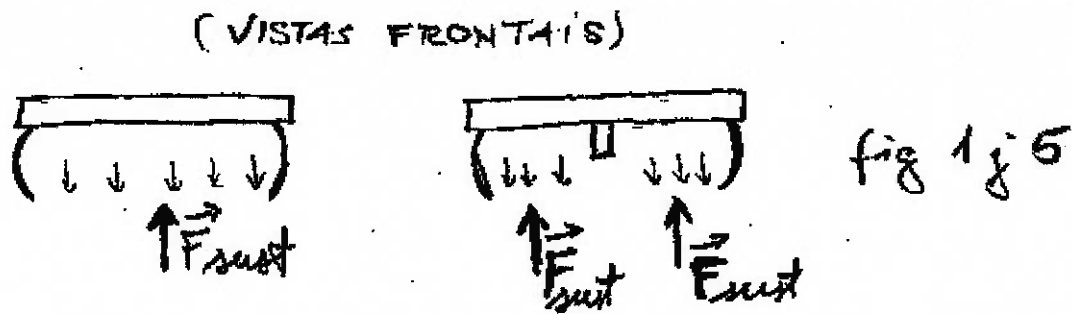
- o torque do motor de fluxo horizontal gerava a inclinação lateral do veículo nas acelerações (fig. 1j4).



- o CG alto do veículo fazia com que nas curvas houvesse uma excessiva inclinação lateral do veículo para o lado externo da curva.
- a grande área lateral do veículo o expunha aos efeitos dos ventos laterais, que desviavam inoportunamente sua rota.

Propusemos na ocasião, em instalar uma placa vertical que dividisse o colchão de ar em dois, o lado direito e o esquerdo, para que surgisse assim duas forças de sustentação distribuídas, uma em cada lateral, para assim estabilizar o roll do veículo (fig. 1j5). Não

podemos ainda afirmar a eficiência desta solução, que será testada no capítulo Ensaaios de Modelos Analógico-Funcionais.



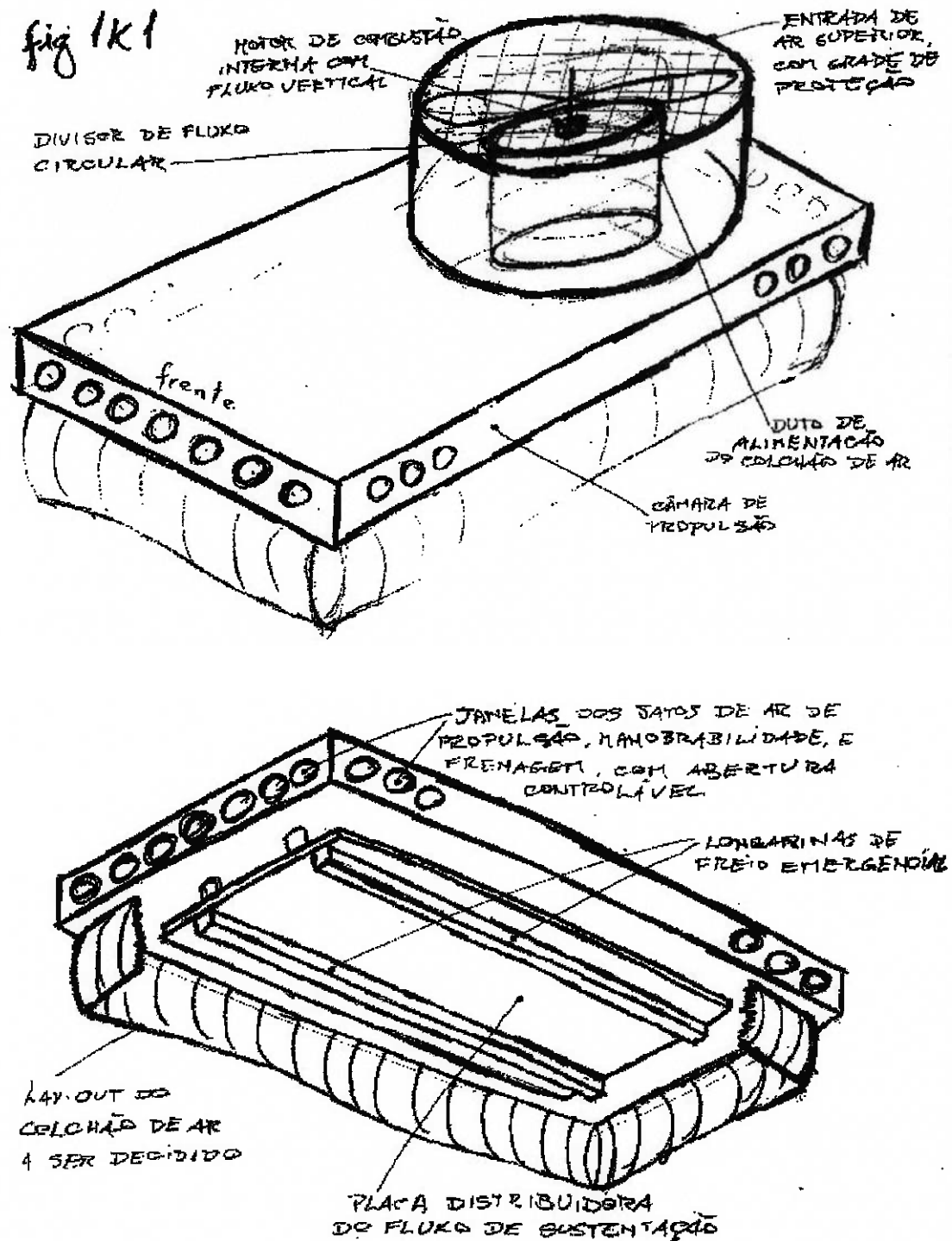
Mas quanto à inclinação lateral causada pelo torque do motor, acreditamos ter a solução, uma vez que utilizaremos agora o motor com fluxo vertical, e o torque problemático deixará de existir. Esta solução de disposição do motor com fluxo vertical também deve solucionar a problemática da grande área lateral exposta ao vento, uma vez que assim eliminamos a grande estrutura sustentadora do motor e defletora do fluxo horizontal para a sustentação.

A questão da inclinação lateral em curvas também deve ser solucionada com o uso do motor com fluxo vertical pois assim abaixamos o CG do veículo aproximando-o bastante do centro de giro longitudinal do veículo, praticamente eliminando o binário em questão.

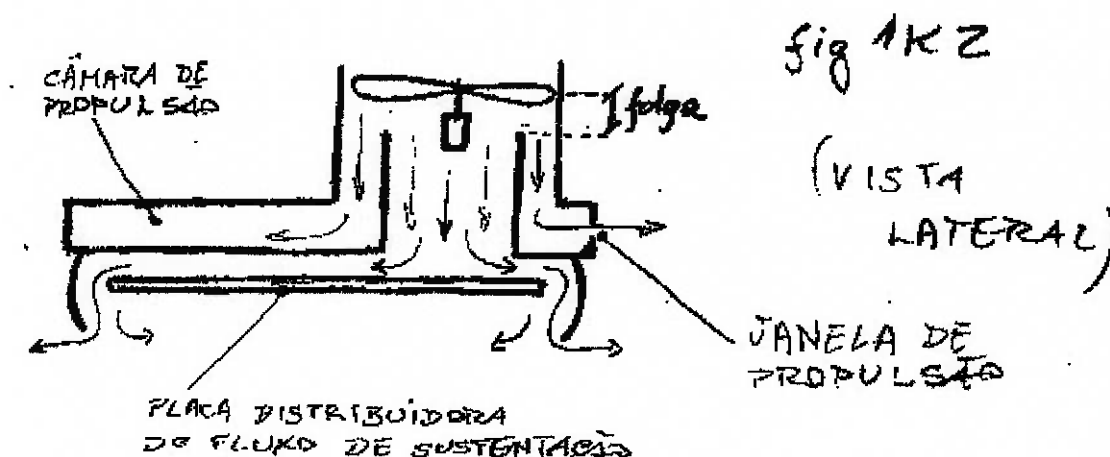
CONCLUSÃO DA ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO:

Considerando todas as possíveis soluções encontradas até o momento, nos cabe agora desenvolver um lay-out que absorva e respeite TODAS elas simultaneamente.

Chegamos então ao lay-out ilustrado na fig. 1k1 a seguir:



O Divisor de Fluxo cuja decisão de forma ficou pendente no item 2.1.c, toma então o formato circular, para permitir a passagem do duto de alimentação do colchão de ar (fig. 1k2). A variação do divisor de fluxo para controlar a proporção de ar de propulsão e de sustentação se tornaria extremamente complexa com a configuração circular. Entretanto, como as janelas de propulsão da câmara de propulsão têm sua abertura controlável, podemos afastar o divisor de fluxo das pás da hélice deixando aí uma folga de forma a permitir uma auto compensação do fluxo de propulsão para o de sustentação caso a vazão de propulsão seja nula (todas as janelas de propulsão fechadas).



A propulsão, a manobrabilidade e a frenagem de primeira instância são executadas com os previstos jatos de ar, provenientes de janelas localizadas na frente (grande vazão), atrás (grande vazão), e nas laterais em dois grupos de pequena vazão cada: janelas laterais dianteiras e janelas laterais traseiras. Assim, abrindo as janelas da frente teremos movimento do veículo para trás; abrindo as janelas de trás teremos movimento do veículo para frente, ou frenagem de primeira instância; abrindo todas as janelas da lateral direita, teremos movimento lateral do veículo para a esquerda (e vice-versa); e finalmente, abrindo as janelas laterais diagonais (por exemplo as janelas laterais dianteiras direitas e as janelas laterais traseiras esquerdas), teremos movimento de rotação do veículo em torno do próprio eixo (no exemplo, de pivoteamento anti-horário). A abertura das janelas têm controle progressivo e independente, assim como a aceleração do motor, permitindo total flexibilidade de movimentos e acelerações por parte do operador, podendo inclusive optar por ficar imóvel, sustentado sobre o colchão de ar.

O motor é posicionado dentro do duto de alimentação do colchão de ar (o que já beneficia sua refrigeração), na situação mais baixa possível para abaixar o CG ao máximo, atingindo-se assim os objetivos da estabilidade ao pitch e ao roll.

Chegamos assim a uma solução que atinge os objetivos da proposta de veículo todo terreno e de plena manobrabilidade, e esta solução é não só evolutiva, mas também inovadora, pois a configuração à que chegamos não existe no mercado e nem em protótipos.

2.2 Modelagem do Projeto:

Para podermos ter uma apresentação mais ‘concreta’ do produto, devemos quantificar algumas das soluções encontradas até aqui. Isto será feito neste capítulo, onde através de modelos icônicos (elaboração de desenhos e maquetes), analógicos (construção de protótipos; analogia funcional) e simbólicos (equacionamento matemático; utilizando variáveis de entrada e através de parâmetros do projeto chegando às variáveis de saída), conseguiremos determinar o comportamento do projeto analiticamente.

Para a implementação de uma primeira proposta deste capítulo, a de visualizar aquilo que estamos executando e aquilo onde queremos chegar, foram elaboradas dezenas de ilustrações de todas as etapas do projeto, e distribuídas ao longo dos capítulos próximas aos seus textos de referência.

Ainda assim, sentimos a necessidade de elaborar uma maquete como foi feito no Estudo de Viabilidade, para compor fisicamente a reunião das soluções encontradas no capítulo anterior. A diferença básica entre se limitar a desenhos e executar uma maquete está nas problemáticas que surgem durante a elaboração da maquete, e que não puderam ser previstas nas etapas anteriores do projeto. Isto ocorre principalmente no aspecto construtivo (dimensões, encaixes, vínculos entre peças), que é quase que marginalizado durante o trabalho de ‘brain storm’ de soluções, mas se não for atentamente observado, pode trazer resultados com custos altíssimos na execução do produto, e de peças especializadas para cumprir as funções cegamente determinadas no projeto. Procura-se então na elaboração da maquete, encontrar soluções construtivas e de disposição física para reunir todas as propostas do capítulo anterior. Como exemplo de problemas que surgiram na elaboração da maquete está a disposição do mancal do motor de forma a minimizar as vibrações (tanto por motivo de resistência do material, como por motivo de nível de ruído), item até o momento desprezado. Outro problema identificado durante a execução da maquete foi a localização do tanque de combustível e dos mecanismos acionadores das janelas de propulsão, de forma a maximizar a área útil da plataforma do veículo, considerando a distribuição de massa mais uniforme possível para manter o CG no centro geométrico da plataforma em planta. Mais uma questão polêmica foi levantada durante a elaboração das janelas para os jatos de propulsão. Dissemos anteriormente que estas janelas deveriam ser móveis e de abertura gradualmente controlada, mas nada foi dito pela implementação deste sistema. Como fazê-lo de forma mais simples, econômica e eficiente possível? Chegamos então na maquete mostrada na figura da página seguinte.



Passamos então para a modelagem matemática de alguns sistemas cujas descrições feitas até agora não permitiram uma definição suficiente de suas características, ou não permitiram nem a tomada de decisão por uma solução. Muitas vezes a modelagem matemática faz uma rápida e financeiramente econômica aproximação inicial de grandezas que nos direciona para uma solução ou comprova a eficiência de uma solução tomada oferecendo confiança para a continuidade do projeto.

Faremos então o estudo analítico dos seguintes tópicos:

- 2.2.a. Aerodinâmica de asas para seleção da hélice:
- 2.2.b. Dimensionamento do Sistema de Sustentação; Considerações Gerais
- 2.2.c. Dimensionamento do Sistema de Propulsão; Considerações Gerais

2.2.a. Aerodinâmica de asas para seleção da hélice:

Para se fazer a escolha da hélice (ou das hélices) no hovercraft, temos que nos ater àquilo que queremos que essa hélice nos proporcione. Temos duas funções distintas a serem cumpridas por fluxos de ar no veículo:

- propulsão: o ventilador deve gerar uma força na direção horizontal para mover o veículo nesta direção. Isto é obtido pelo princípio da manutenção da quantidade de movimento:

$$m_{ar} \cdot V_{ar} = m_{hover} \cdot V_{hover}$$

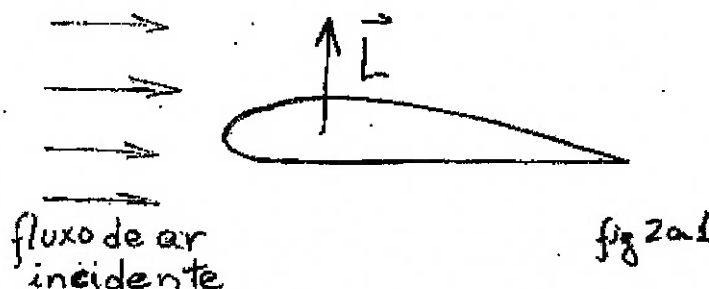
Assim, para a propulsão queremos alta velocidade do fluxo de ar, no sentido oposto ao movimento desejado no hovercraft.

- sustentação do hovercraft: o ventilador deve manter a pressão desejada no colchão da ar sob o hovercraft.

Estes dois fluxos de ar serão gerados por hélices. Para poder selecionar as hélices ideais para as funções, estudaremos a seguir os princípios aerodinâmicos que regem o funcionamento de hélices, que trataremos como se cada pá da hélice fosse a asa de um avião.

ORIGEM DA SUSTENTAÇÃO NA ASA DO AVIÃO:

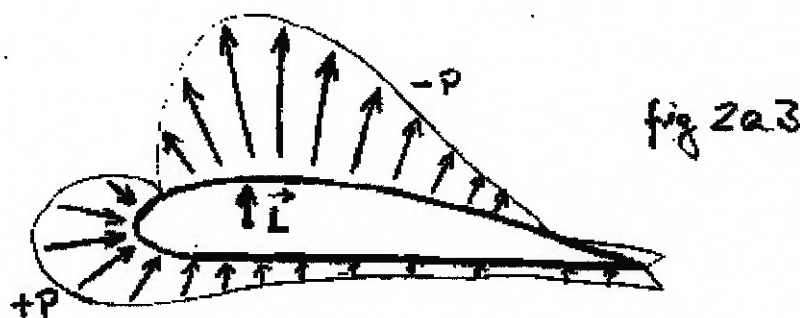
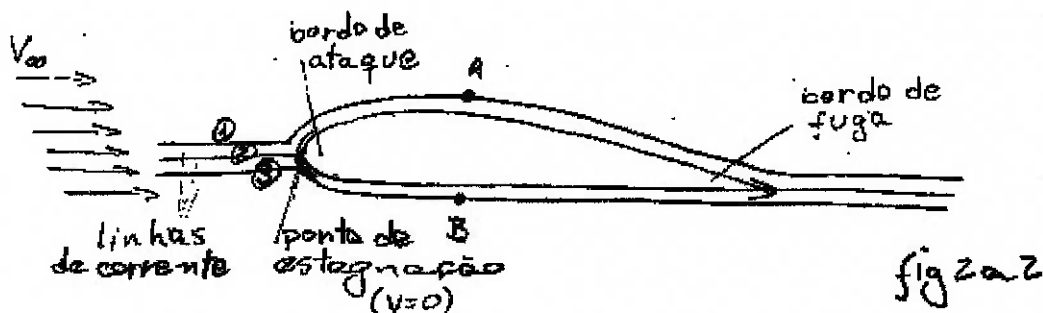
A asa de um avião é desenhada com o intuito de proporcionar a este sustentação para voar, ou seja, proporcionar uma força com uma componente vertical para cima (maior que o peso do aparelho), gerada a partir do fluxo de ar incidente na direção perpendicular à força desejada (fig.2a1). Esta força tem o nome de sustentação (L). O perfil da asa de um avião tem o desenho que otimiza a obtenção desta força (gerando o mínimo de dissipação de energia em forma de vórtices e consequente calor) e podemos compreender a origem dela a partir de dois enfoques: Bernoulli e ação-reação.



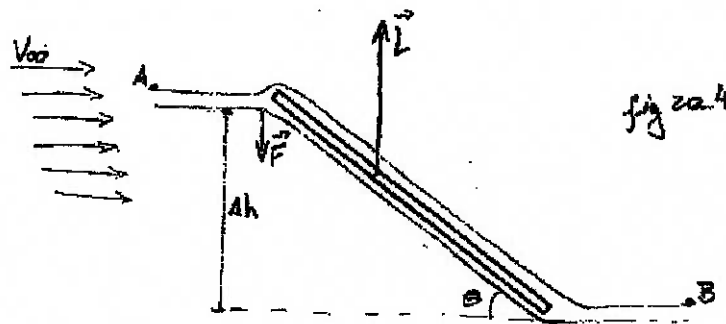
A equação de Bernoulli descreve constância da energia de um fluido ao longo de uma linha de corrente (LC), constância que existe caso não haja perdas (geradas por fatores localizados ou distribuídos). Essa energia é composta pela pressão, velocidade e altura (potencial) das partículas do fluido num determinado volume de controle. A energia do

fluido como um todo, assim como cada uma de suas componentes, têm a natural tendência de manter seus estados.

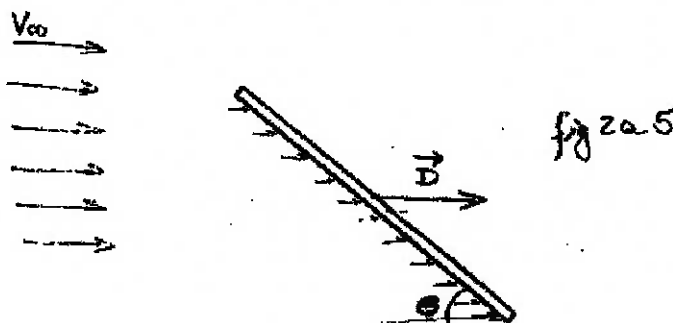
Quando incide adiante de uma asa um escoamento de ar com velocidade ao longe V constante (fig. 2a2), graças ao ar não ser um fluido perfeito e apresentar viscosidade, as partículas de ar que chegam juntas no bordo de ataque devem sair juntas pelo bordo de fuga. Parte do escoamento segue pela parte superior da asa e parte dele pela parte inferior. A LC2 que divide estas partes chega na asa no chamado 'ponto de estagnação', com velocidade zero. A LC2, inferior, percorre uma certa distância até chegar ao fim do bordo de fuga. A LC1, superior percorre uma distância maior até chegar ao mesmo ponto, e por não ser um fluido perfeito, demorando o mesmo tempo. Assim, a velocidade das partículas na LC1 superior no trecho da asa, é maior que a das partículas da LC3 inferior. Portanto, para atender à constância da energia na equação de Bernoulli entre duas partículas A e B, uma na parte superior da asa, outra na parte inferior, desconsiderando a diferenças das alturas, que é desprezível, concluímos que onde temos velocidade maior, obtemos pressão menor (partícula A, parte superior), e onde temos V menor obtemos P maior (partícula B, parte inferior), e obtém-se o diagrama de pressões da fig. 2a3. Desta pressão maior sob a asa e menor sobre a asa, obtemos a força de sustentação L (lift). Quanto maior V , maior a diferença entre as pressões superior e inferior, logo, maior sustentação L . Diferentes perfis de asa gerarão diferentes rendimentos para a sustentação, de acordo com a velocidade V .



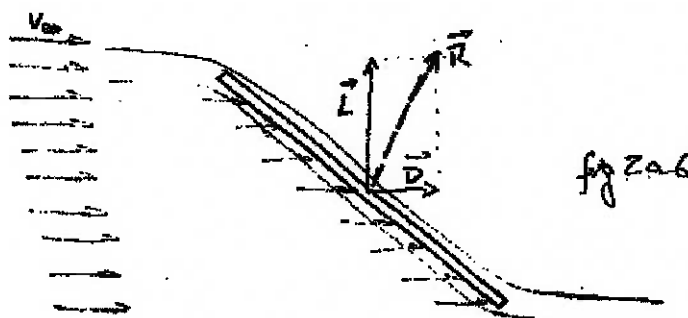
Outro enfoque, o da ação-reação, nos mostra que se imprimirmos um ângulo de ataque a uma placa que recebe um escoamento de ar com velocidade ao longe V constante, esta placa desloca a massa de ar que chega na altura A , para a altura B (fig.2a4), em h (proporcional a α). Assim, a placa realiza um trabalho, associado a uma força F . Essa força de ação da placa sobre o fluido viscoso, tem uma reação do fluido para a placa, na mesma direção (vertical), mas sentido oposto (para cima), que é a força de sustentação (L).



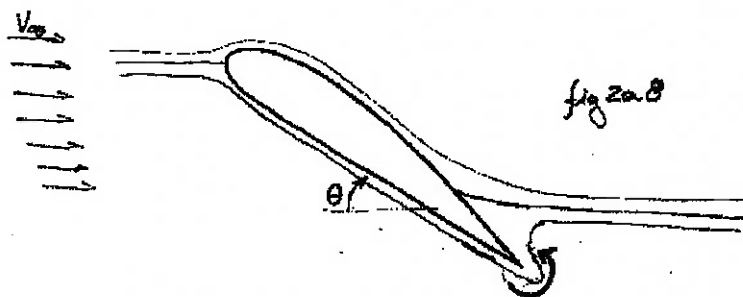
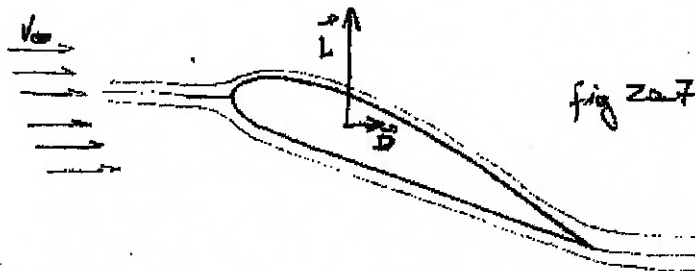
Porém, nessa situação observamos uma consequência indesejável da ação da incidência do fluxo de ar sobre a face da placa exposta ao vento (fig.2a5), que é o arrasto (D) gerado pela pressão distribuída (também proporcional a α).



Obtemos então a força resultante R da sustentação L associada ao arrasto D , na placa inclinada com um ângulo de ataque α (fig.2a6). Quanto maior V , maior a potência da força L , e maior a pressão geradora do arrasto D . Quanto maior α , maior h , logo maior sustentação L , e maior a projeção da pressão p na direção do arrasto D (que limita a velocidade V). Como em todo problema de engenharia, existe um ponto ótimo a ser determinado para α , maximizando L e minimizando D .

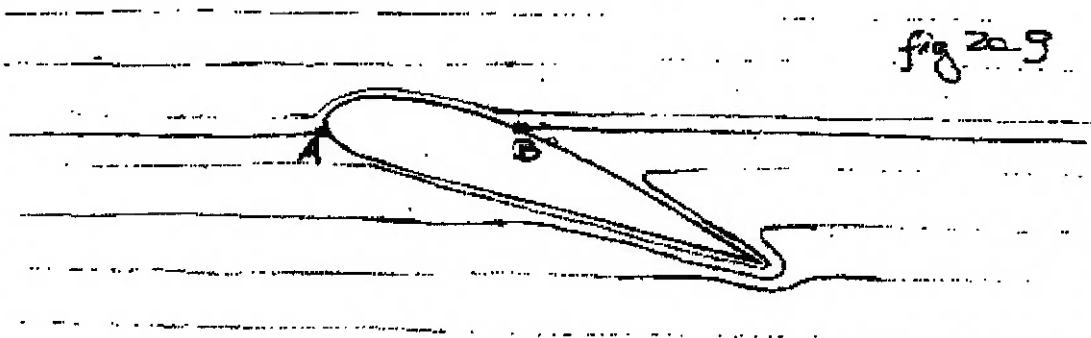


Compreendidas as origens da força de sustentação, notamos que na prática é feita a junção da teoria da diferença de pressões por Bernoulli, e da teoria do deslocamento da massa de ar por ângulo de incidência, para se chegar ao objetivo inicial da asa do avião: a maior sustentação possível (fig.2a7). Notamos agora que aumentando o ângulo de ataque, passamos a presenciar o 'descolamento' da LC1 da superfície da asa e consequente vórtice no bordo de fuga, descaracterizando a situação de pressões descrita e perdendo a sustentação L (fig.2a8).

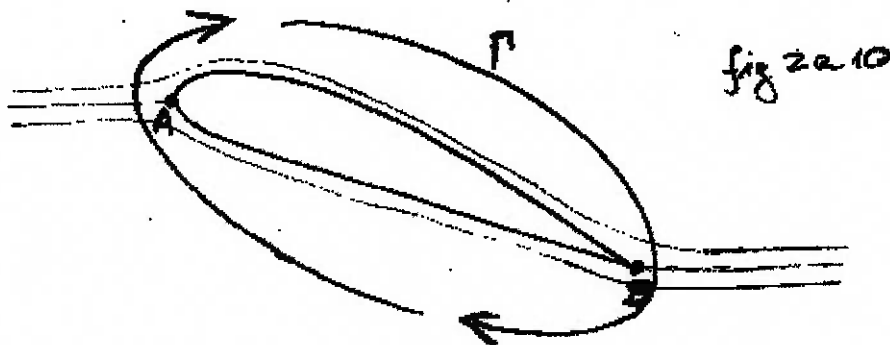


A CIRCUITAÇÃO:

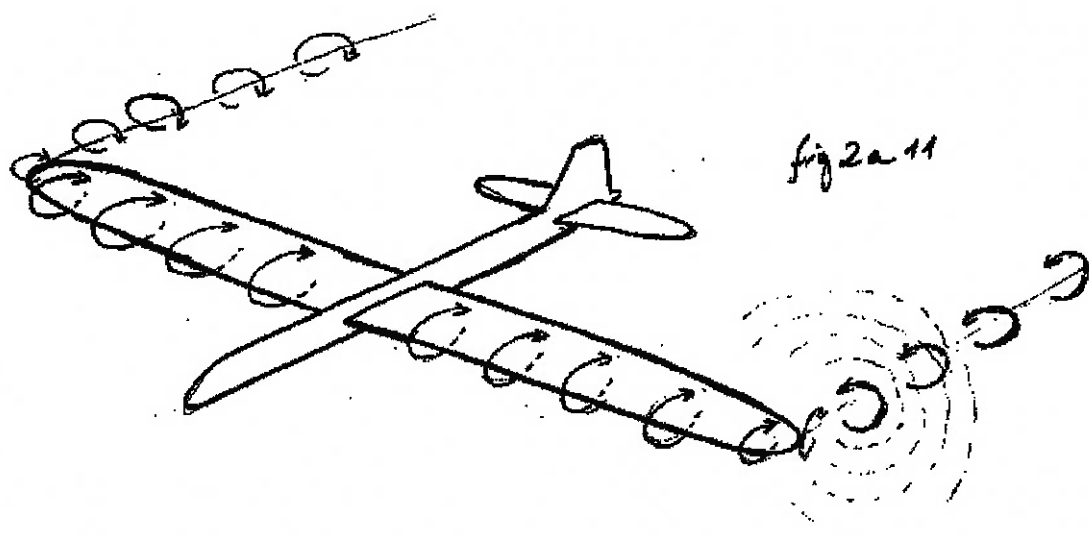
Como já dito, a energia do fluido como um todo, assim como cada uma de suas componentes, têm a natural tendência de manter seus estados. Portanto, quando colocamos o perfil de uma asa em um escoamento de ar com velocidade ao longe V constante, o potencial da LC que chega no ponto de estagnação no bordo de ataque tende também a se manter, o que geraria a configuração da fig.2a9.



Porém, pela geometria do bordo de fuga, seria necessária uma quantidade de energia infinita para que fosse possível este movimento das partículas em volta deste bordo de fuga. Energeticamente, é mais fácil que ponto B se desloque para a ponta do bordo de fuga, e é isso que realmente ocorre. Como consequência desse deslocamento, surge a circulação (fig.2a10).



Essa circulação se manifesta ao longo de todo comprimento da asa, e quando chega a ponta da asa, ela não desaparece simplesmente, e sim se propaga 'escapando' pela ponta da asa, gerando uma coluna de vórtices na rasteira da ponta da asa (fig.2a11).



O ARRASTO INDUZIDO:

Todo movimento de ar além daquele estritamente necessário para que as LC contornem o perfil da asa abordando-a pelo bordo de ataque e deixando-a pelo bordo de fuga, é desnecessário. Ou seja, a energia que gerou esse movimento, que acelerou essa partícula de ar, foi desperdiçada. São chamados de 'arrasto' estes movimentos de ar que consomem energia desnecessariamente. Assim, toda forma de vórtices é prejudicial ao rendimento da asa. A circulação citada, é diretamente relacionada ao que chamamos de Arrasto Induzido, cujo coeficiente é equacionado pela expressão:

$$C_{Di} = \frac{c_L^2}{\pi \cdot AR} \quad AR = \frac{b^2}{S}$$

onde: c_{Di} : coeficiente de arrasto induzido

c_L : coeficiente de sustentação

AR: aspect ratio

b: envergadura

S: área da asa

Logo, quanto maior a envergadura, menor o arrasto induzido (e assim temos menos perdas e maior eficiência na sustentação).

O ARRASTO PARASITA:

Quanto maior a área de uma asa e maior a velocidade do ar que escoar por ela, maior será sua sustentação L:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

onde ρ : densidade do ar

S: área alar

V: velocidade ao longe

Porém, quanto maior a área da asa, maior será a área de atrito entre a asa e o ar, e consequentemente maior a superfície de camada limite onde o ar se comporta como fluido viscoso, e onde temos a tensão tangencial:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

onde: μ : coeficiente de viscosidade dinâmica

du: gradiente de velocidade tangencial

dy: gradiente da altura perpendicular à velocidade

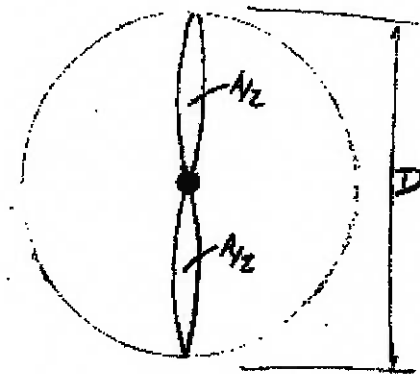
Esta tensão integrada na superfície da asa, fornecerá uma força de resistência ao movimento, o Arrasto Parasita, que é tanto maior quanto maior for a área da asa. Logo, existe um ponto ótimo para aumentarmos área de uma asa, de forma a aumentar a sustentação L e não aumentar na mesma proporção o Arrasto Parasita.

A 'Solidez' de uma hélice (asa rotativa) é uma medida que relaciona a área das pás da hélice com a área da circunferência gerada pela hélice em rotação:

$$\text{Solidez} = \frac{A}{\pi D^2 / 4}$$

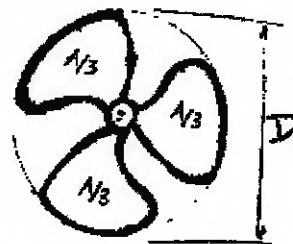
onde A: área das pás da hélice

D: diâmetro da circunferência gerada pela hélice em rotação



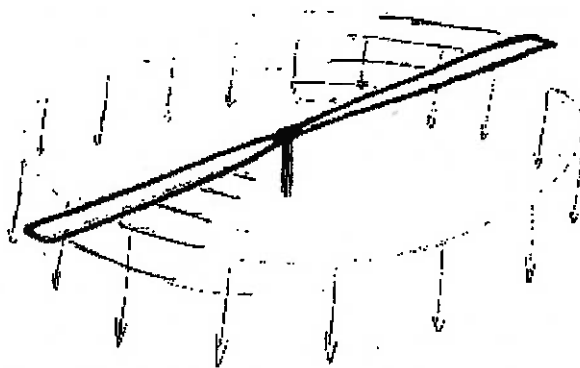
BAIXA SOLIDEZ

fig 2a12a



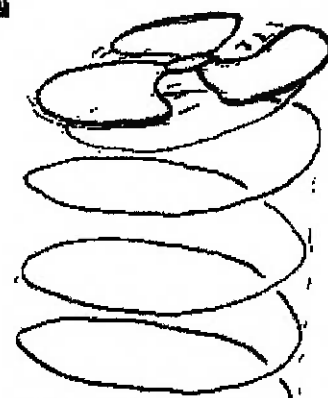
ALTA SOLIDEZ

Assim, tomando como exemplo duas hélices de mesma área de pás, uma fina e longa outra pequena e larga, as duas terão o mesmo arrasto parasita (mesma área), porém a pequena de alta solidez (fig. 2a12a), movimenta uma massa de ar menor, de menor momento de inércia, e portanto cria um maior turbilhonamento (fig. 2a12b).



MESMO ARRASTO PARASITA
↓ TURBILHONAMENTO
(MASSA DE AR)

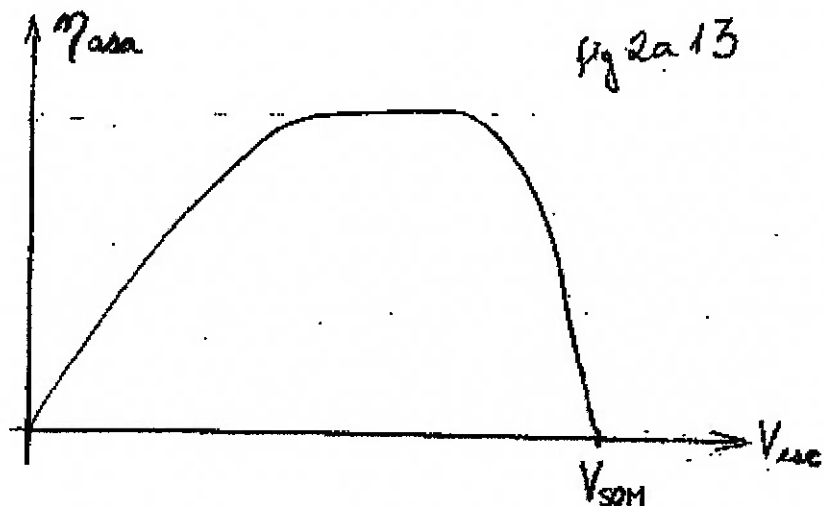
fig 2a12b



MESMO ARRASTO PARASITA
↑ TURBILHONAMENTO
(MASSA DE AR)

RENDIMENTO DA ASA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE:

Como dito, ao aumentarmos a velocidade do ar que escoar por uma asa, aumentamos a sustentação L . Porém, se essa velocidade se aproxima da velocidade do som, passamos a ter efeitos de compressibilidade e a sustentação passa a apresentar uma considerável perda de rendimento, como mostra o gráfico abaixo:



A sustentação (que em hélices é chamada de tração T) segue então a seguinte equação:

$$\frac{T}{2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot A} = \frac{1 - \eta}{\eta^2}$$

onde: T : tração (sustentação da asa)
 ρ : densidade do ar
 A : área da asa (das pás da hélice)
 η : rendimento da tração

CONCLUSÃO:

asa fina e longa:

- baixo arrasto induzido beneficiando a boa sustentação
- em hélices, baixa solidez, minimizando o arrasto parasita e consequentemente minimizando o turbilhonamento (perdas), maximizando assim a tração
- para se conseguir boa sustentação, se necessita grande área, e para tal, sendo a asa fina, busca-se fazê-la longa; porém em hélices, nas altas rotações os extremos da hélice atingem velocidades muito altas, prejudicando o rendimento. Daí, ou diminui-se a rotação, ou diminui-se o comprimento da hélice e para manter a área de asa adiciona-se mais pás de hélice. Extrapolando esta situação caímos na asa proporcionalmente larga e curta, que tem as características a seguir.

asa larga e curta:

- alto arrasto induzido, o que prejudica o rendimento energético.
- para maximizar a sustentação, consequência da diferença de pressão na asa, maximiza-se a área da asa.
- em hélices, alta solidez, o que aumenta o arrasto parasita e consequentemente aumenta o turbilhonamento.
- em hélices, à mesma rotação que a hélice do caso anterior, teremos velocidades menores podendo cair em um bom rendimento da tração.
- tanto em asas, como em hélices, consegue-se minimizar o espaço ocupado (menor envergadura, e menores hélices, fator fundamental para o caso de barcos).

Para a propulsão do hovercraft: queremos a máxima tração, ou seja a máxima sustentação da asa, com o melhor rendimento. Como num helicóptero, porém com limitações de espaço. Portanto a melhor solução é uma hélice com pás finas (baixo arrasto induzido), não muito longas (economia de espaço e evitar que as pontas das pás atinjam velocidades de queda de rendimento), com boa área de asa (maximizar sustentação) até o ponto de não exagerar nas perdas por arrasto parasita (evitar perdas por turbilhonamento). Para aumentar a área de asa, aumentamos a quantidade de pás finas até o número que não exagere no arrasto parasita. Atende-se assim também a economia de espaço.

Solução: fig2a14

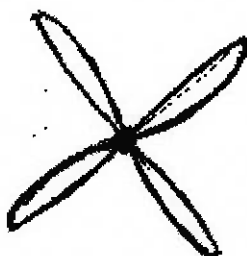


fig.2a14

Para a sustentação do hovercraft: deseja-se alta diferença de pressão antes e depois da hélice. Ou seja, alta sustentação e portanto grande área de asa. Geralmente a hélice de sustentação é disposta no plano horizontal, e portanto requer economia de espaço para não ocupar muito espaço na plataforma do veículo. Não há muito prejuízo em haver perdas, pois o rendimento dessa hélice é quase zero uma vez que ela praticamente não desloca ar, mas sim mantém pressão. Por isso podemos até ter grande arrasto induzido (usar pás curtas), e ter arrasto parasita com eventual turbilhonamento, pois nesta hélice o baixo rendimento pode ser grande, sem que as perdas sejam vultuosas, pois queremos apenas uma grande sustentação (área maior possível independente das conseqüentes perdas).

Solução: fig2a15

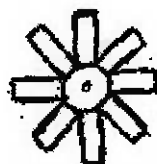


fig.2a15

Para o hovercraft deste projeto: já está feita a opção por um motor com apenas uma hélice que pressuriza a colchão de ar e também pressuriza a câmara de propulsão por jatos de ar. Logo, será utilizada apenas a hélice proposta como solução para a sustentação do hovercraft (fig.2a15).

2.2.b. Dimensionamento do Sistema de Sustentação; Considerações Gerais

Seguiremos aqui e no item 2.2.c, um roteiro fornecido em uma publicação inglesa chamada "Homebuilt Hovercraft, a plain man's guide to air cushion vehicles design and construction", de G.H.Williams, professor mestre do Departamento de Aeronáutica do Imperial College, Londres:

l, b (entradas): largura $b \geq$ que $\frac{1}{2}$ do comprimento l : $l=5,0\text{m}$ (16,4 ft) ; $b=2,5\text{m}$ (8,2 ft in)

lb: comprimento do colchão $lb=16,4$ ft

Ac: área do colchão $Ac=134,48$ sq ft (saída)

regra empírica 1: pressão do colchão (lbf/sq ft) < comprimento do casco (feet):

$$pc < 16,4 \text{ lbf/sq ft}$$

determinação da lotação desejada (entrada): 600 kg

Wt: peso total . $2,5 \cdot \text{lotação (peso da carga)} \cdot 2,5 \cdot 600 \text{ kg} = 1500 \text{ kgf} = Wt=3300 \text{ lbf}$
(tara = peso do veículo vazio)

hv: altura livre do casco (hv) . $1/8$ da largura b : (hv) . $0,31 \text{ m} = hv=12,3 \text{ in}$

hg: determinação da folga (hg) desejada (entrada): $hg=2 \frac{1}{2} \text{ in}$

(bom para qualquer tipo de terreno, a exemplo de hovercrafts existentes)

hf: logo, a altura da saia (hf) será $= 0,25 \text{ m} = hf=9,8 \text{ in}$

os cálculos serão realizados para câmara com jatos de ar

Rh: relação

$$Rh=16,4 / 0,208 = Rh=78,72$$

$$Rh = \frac{lb(\text{compr. colchão}, ft)}{hg(\text{folga}, ft)}$$

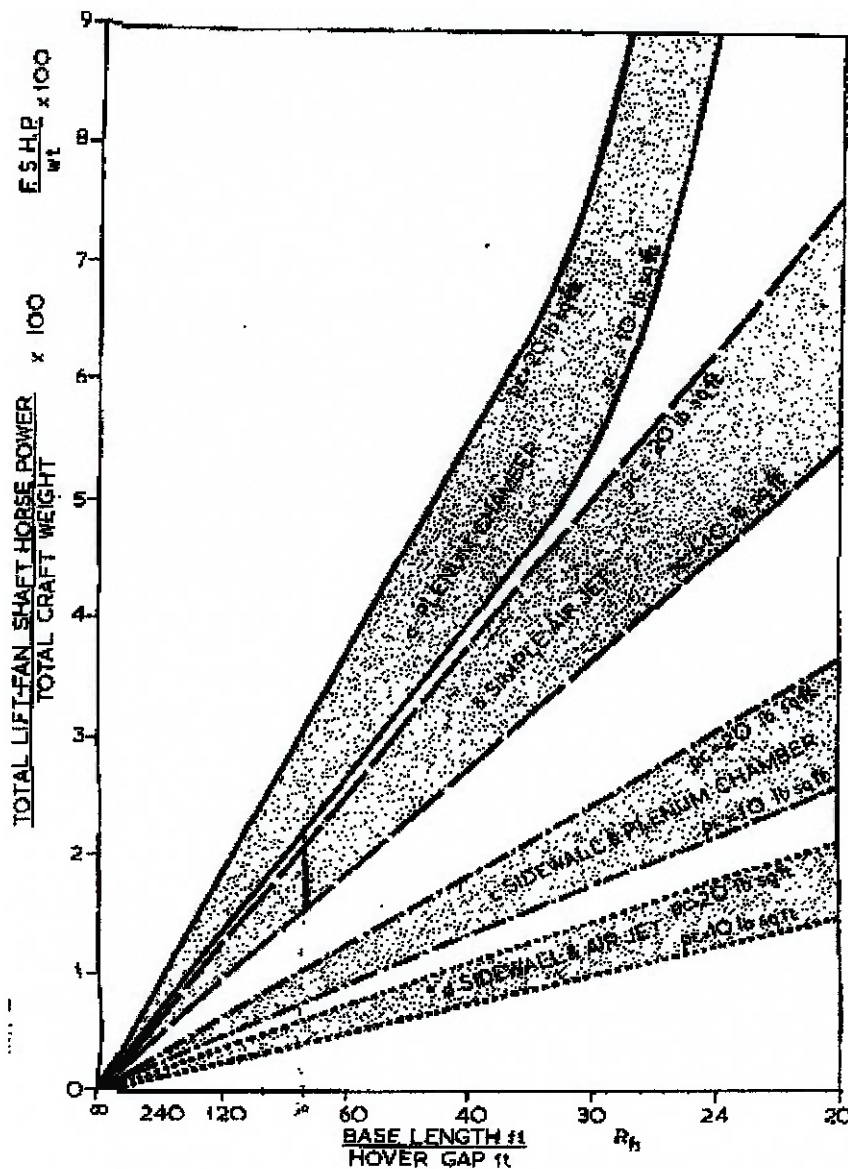
pc: pressão do colchão (saída):

$$pc=3300 / 134,48 = pc=24,54 \text{ lbf/sq ft}$$

$$pc = \frac{Wt(\text{peso total ; lbf})}{Ac(\text{área colchão ; sq ft})}$$

Esta pressão desrespeita a regra empírica 1. Para deixá-la compatível, teríamos que aumentar o comprimento do veículo em $8,14 \text{ ft} = 2,5 \text{ m}$, o que é excessivo, ou diminuir a pressão do colchão para $16,4 \text{ lbf/sq ft}$, ou seja, diminuir o peso total para $2205,5 \text{ lb} = 1002,48 \text{ kg}$. Uma combinação das duas opções seria saudável. Porém, como esta regra empírica é dada como grosseira pelo autor da publicação Homebuilt Hovercraft, passemos adiante utilizando os resultados até aqui adquiridos.

O gráfico a seguir fornece a potência necessária na hélice de sustentação, a partir da relação R_h :

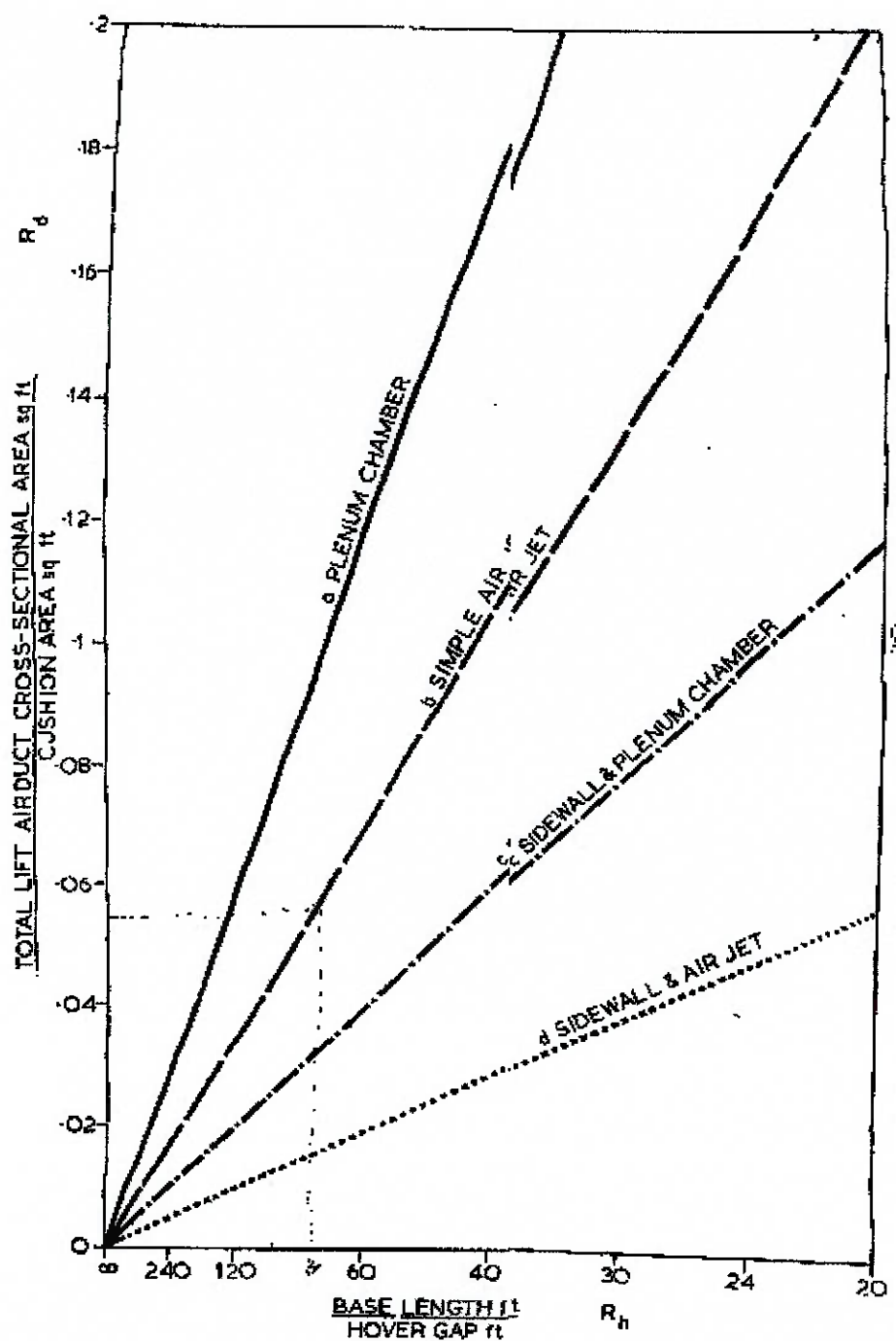


assim, temos $R_h = 78,72$ e utilizaremos a reta de $pc = 20 \text{ lbf/sq ft}$ em simple air jet, chegando em 2 ($fshp \cdot 100 / Wt$), onde $fshp$ (fan shaft horse power) é a potência da hélice de sustentação, em hp. donde $fshp = 66 \text{ hp}$ (saída)

$$2 = \frac{fshp \cdot 100}{Wt} = \frac{fshp \cdot 100}{3300}$$

considerando perdas de 3% na transmissão, necessitaremos uma potência de 68 hp para a sustentação (saída).

Ad: área da seção do duto do fluxo de sustentação: a partir da relação R_h , pelo gráfico abaixo chegamos na relação R_d (área da seção em sq ft / área do colchão em sq ft), através da curva 'simple air jet', e assim, na área da seção:



donde: $R_d = 0,055$ e

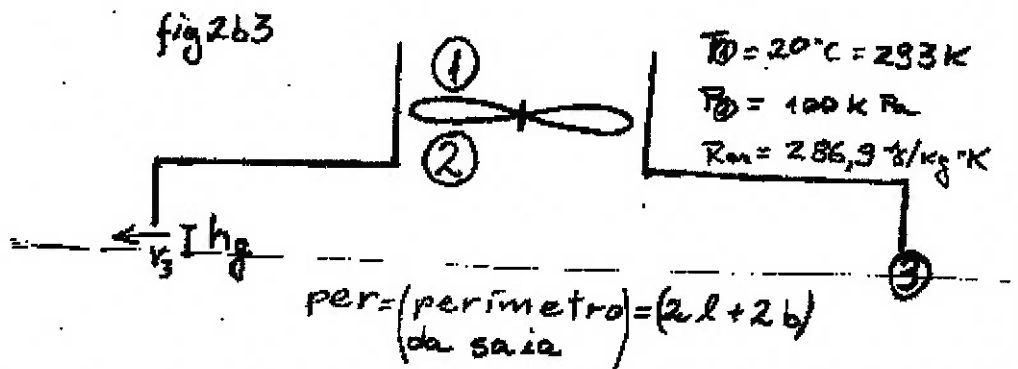
$$R_d = \frac{\text{área da seção (sq ft)}}{\text{área do colchão (sq ft)}} = \frac{A_d}{A_c}$$

donde $A_d = 7,39$ sq ft ou seja, uma circunferência de diâmetro $3,07$ ft = $96,59$ cm (saída)

Assim, os resultados para sustentação ficam:

- área do colchão: $5\text{m} \times 2,5\text{m} = 12,5 \text{ sq m}$
- lotação do veículo: 600 kgf
- tara do veículo: 3300 lbf = 1500 kgf
- hv: altura livre do casco = 12,3 in
- hg: folga = 2,5 in
- hf: altura da saia = 9,8 in
- pc: pressão relativa do colchão = $24,54 \text{ lbf/sq ft} = 0,1704 \text{ lbf/sq in} = 0,0116 \text{ atm}$
- pressão absoluta do colchão: 14,86 psi = 1,0116 atm
- potência para a sustentação: 68 hp
- área do duto para sustentação: 7,39 sq ft

Tomando a sustentação por outra abordagem, uma abordagem mais teórica, conseguimos ainda os seguintes resultados:



$$H_2 = H_3 \quad (H \text{ é a carga, a energia do fluido na região})$$

assim:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{\alpha V_3^2}{2g} + z_3$$

onde: $\alpha = 1$

$g = 10$

$\alpha/10 =$

seja V_2 zero

z_2, z_3

$P_3 = P_{atm}$

assim:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{1.0}{2.10} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{1V_3^2}{2.10}$$

assim:

$$P_2 - P_{atm} = \frac{\rho V_3^2}{2} \quad (eq1)$$

sabemos também que o peso do veículo está sobre a área do colchão, gerando a pressão:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{logo:} \quad P_2 - P_{atm} = \frac{W_t}{l.b} \quad \text{assim:} \quad P_2 - P_{atm} = \frac{15000 N}{5 m \cdot 2,5 m} = 1200 Pa \quad (eq2)$$

(entradas) (saída)

igualando eq 1 com a eq 2 temos:

$$\frac{\rho V_3^2}{2} = 1200 \quad e \quad \rho = \frac{P}{RT} = \frac{10000}{286,8 \cdot 293} = 1,19 \quad \text{assim:} \quad V_3 = 44,9 m/s$$

assim, a vazão de ar Q pela fresta será:

$$Q = V \cdot S = V_3 \cdot (h_g \cdot per) = 44,9 \cdot [0,0635 \cdot (2,5 + 2,2,5)] = 42,7 m^3/s$$

(S entrada) (saída)

Partindo agora do Teorema da Energia Cinética entre as regiões 1 e 2, temos que:

$$H_2 - H_1 = \frac{W_m}{\gamma \cdot Q} - \frac{W_a}{\gamma \cdot Q}$$

onde: $W_a = 0$ $z_1 = z_2$
 $V_1 \cdot V_2 \quad P_1 = P_{atm}$

assim:

$$\frac{P_2 - P_{atm}}{\gamma} = \frac{W_m}{\gamma \cdot Q} \quad \text{assim:} \quad W_m = Q \cdot (P_2 - P_{atm}) = 44,9 \cdot 1200 = 53880 W = 73,25 cv$$

(saída)

e assumindo um rendimento da hélice de 80%, temos que a potência do motor para a sustentação deve ser:

$$W_m = \frac{73,25}{0,80} \quad W_m = 91,56 cv = 90,3 hp$$

(saída)

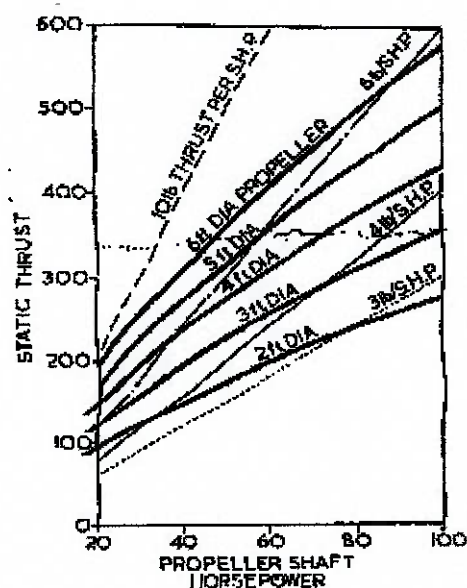
O resultado obtido pelo método empírico apresenta uma diferença de 24,69% a menos de potência na sustentação. Considerando que os dois métodos são plenamente independentes, esta diferença é aceitável, e seguiremos com os resultados do método empírico.

2.2.c. Dimensionamento do Sistema de Propulsão; Considerações Gerais

Ts: regra empírica 2: tração estática $T_s \approx 0,1 W_t$ para termos suficiente aceleração, controle de manobrabilidade, propulsão em subidas de até $1/10$ (6 graus), e atingir 35mph (56 km/h) no plano.

assim, $T_s \approx 330 \text{ lbf} = 150 \text{ kgf}$ (entrada)

A partir da tração estática e da potência que se deseja utilizar do motor para propulsão, consegue-se determinar o tamanho da hélice a ser utilizada, através do gráfico abaixo, elaborado para hélices genéricas:



Assim, os resultados para propulsão ficam:

- tração estática $T_s = 330 \text{ lbf}$
- potência para propulsão: 55 hp (45% da potência total)
- área do duto para propulsão: 9 sq ft (52% da área total da hélice)

Motor a ser utilizado: automotivo, 2 litros, 120 hp

diâmetro total do duto: 4,7 ft = 1,43 m

Nota: para se conseguir mais tração, é melhor aumentar a hélice e manter a potência, que aumentar a potência e manter a hélice. Obtém-se uma diferença de 40% no rendimento entre as duas opções. Podemos ver isto nas linhas pontilhadas do gráfico acima.

Calcularemos agora a vazão e consequente velocidade do veículo, por de uma abordagem teórica, utilizando como referência a fig.2b1 do item anterior.

aplicando a equação da energia cinética entre as seções 1 e 2:

$$H_2 - H_1 = \frac{W_m}{\gamma \cdot Q} - \frac{W_a}{\gamma \cdot Q}$$

$$\text{onde: } W_a = 0 \quad Z_1 \cdot Z_2 \\ V_1 \cdot V_2 \quad P_1 = P_{atm}$$

obtemos que

$$W_m = Q \cdot (P_2 - P_1)$$

já temos definido W_m para a propulsão como sendo 55 hp, ou seja, 41030 W; queremos a vazão Q , porém não temos as pressões P_1 e P_2 ;

Para solucionar esta equação, fomos buscar resultados experimentais com o uso de um túnel de vento com um ventilador em sua seção central. Exibiremos o procedimento e os resultados neste item ao invés de apresentá-los no item 2.3 (Ensaio de modelos analógico-funcionais) por uma questão de continuidade da linha de pensamento. Verificamos então que não é real afirmar que $P_1 = P_{atm}$. P_1 é inferior à P_{atm} pois na seção 1 verificamos sucção. Como não queremos valores das pressões na região 1 e na região 2, mas sim a diferença entre elas, verificamos no túnel de vento a eficiência de se medir esta diferença com o uso de um manômetro feito com uma mangueira transparente com água, cujas extremidades foram inseridas uma na região 1 e outra na região 2 perpendicularmente à vazão, e medindo a diferença de cota das superfícies.

Aplicamos então este princípio no modelo analógico-funcional construído para o item 2.3 e com o motor em rotação máxima e o modelo em situação de sustentação imóvel, o manômetro indicou o seguinte resultado que pode ser diretamente transportado para nossos cálculos, por analogia:

$$(P_2 - P_1) = \text{de 70 mm de coluna de água} = 700 \text{ Pa}$$

$$\text{assim, temos que } W_m = Q \cdot (P_2 - P_1) \quad \text{ou seja, } Q = 58,6 \text{ m}^3 / \text{s}$$

sabemos que a área S dos dutos de propulsão é de $9 \text{ sq ft} = 0,836 \text{ m}^2$

então, aplicando a equação $Q = V \cdot S$ obtemos $V_{ar} = 70 \text{ m/s}$

a massa de ar que se desloca nesta situação é então: $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$

Aplicando agora a manutenção do momento:

$m_{ar} \cdot V_{ar} = m_{hover} \cdot V_{hover}$ teremos

$$V_{hover} = \frac{m_{ar} \cdot V_{ar}}{m_{hover}} = \frac{m_{ar} \cdot 70}{1500}$$

$$V_{hover} = 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$$

2.3 Ensaios de Modelos Analógico – Funcionais:

O projeto experimental é feito através de protótipos funcionais, que permitem ensaiar até os aspectos mais complexos, difíceis de se modelar matematicamente. Estes ensaios permitirão que se executem as análises de sensibilidade, compatibilidade, estabilidade e otimização, em condições bem controladas. Também fornecerão respostas sobre hipóteses e análises levantadas, gerando informações, evidenciando novos problemas, e aperfeiçoando o projeto.

Protótipos e modelos são bem mais custosos que simulações matemáticas (porém tangem a realidade de fatores que podem ter sido omitidos, esquecidos ou desconsiderados no modelo matemático), e por isso devem ser precisamente executados e planejados, sendo assim capazes de fornecer informações precisas.

No decorrer de todo o projeto até então, já foi elaborado um modelo analógico-funcional inicial no Estudo de Viabilidade (fig.31a,b,c), e uma maquete da solução encontrada no item 2.1 do Projeto Básico. Esta última maquete foi construída já com a idéia de ser utilizada como modelo analógico-funcional, dispondo de toda sua parte operante em condições de uso (fig.32a,b,c,d) e em condições de testar todos os aspectos que foram sendo deixados em aberto ao longo do projeto para encontrar uma solução nos Ensaios de Modelos Analógico-Funcionais. Estes aspectos em aberto estão organizados a seguir, constituindo o planejamento dos ensaios:

- 2.3.a. ensaios dos dispositivos de manobrabilidade
- 2.3.b. ensaios do lay-out do colchão de ar
- 2.3.c. ensaios dos dispositivos de frenagem
- 2.3.d. ensaios dos dispositivos de estabilidade ao roll e ao pitch
- 2.3.e. Necessidade de novos ensaios, de acordo com tópicos abordados durante o projeto

O modelo construído em fibra de vidro em escala dimensional 7:1, com um motor de combustão interna de dois tempos (capacidade de 0.4 polegadas cúbicas, potência de 1,2hp e aceleração controlável pelo operador remoto), hélice de três pás (diâmetro de 22 cm), proporção entre fluxo de propulsão e de sustentação fixa respectivamente em 52 e 48%, saia de borracha, janelas de jatos de ar de propulsão controladas por cabos de nylon, e comandos acionados por controle remoto.

fig.31a,b,c:

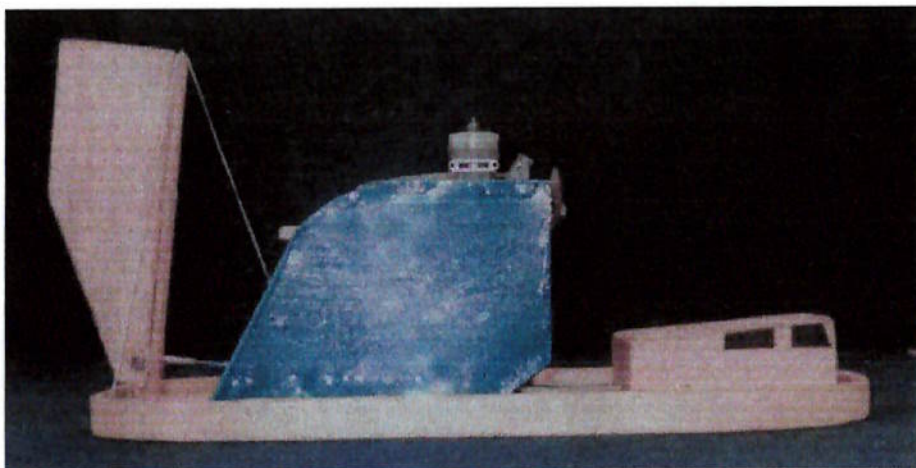
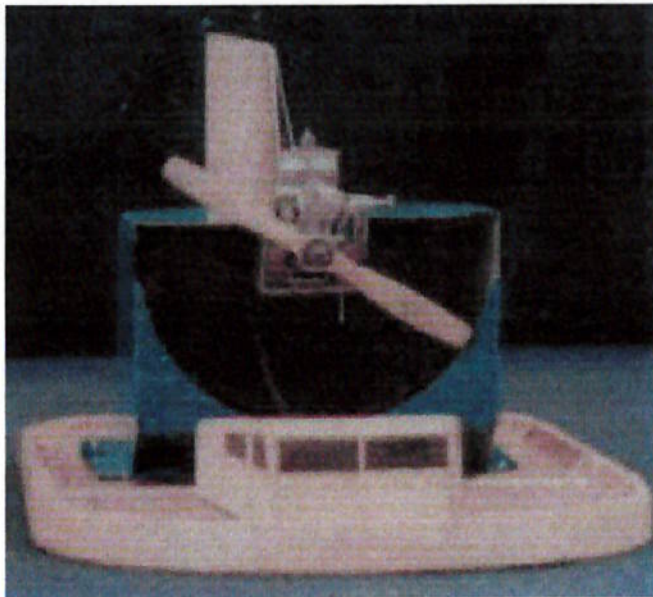
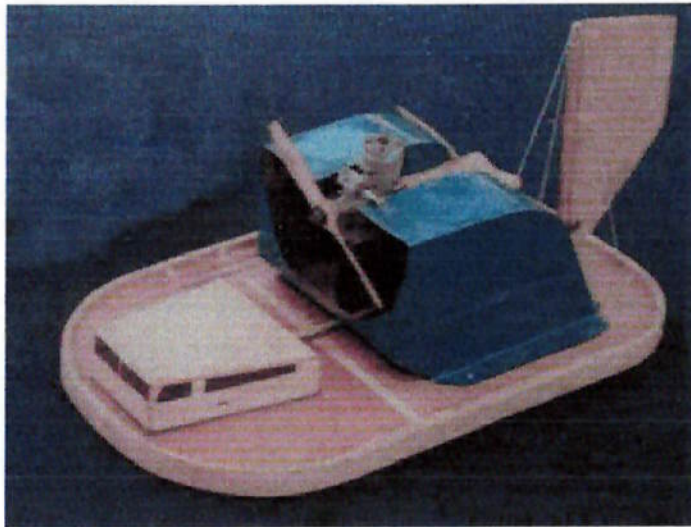
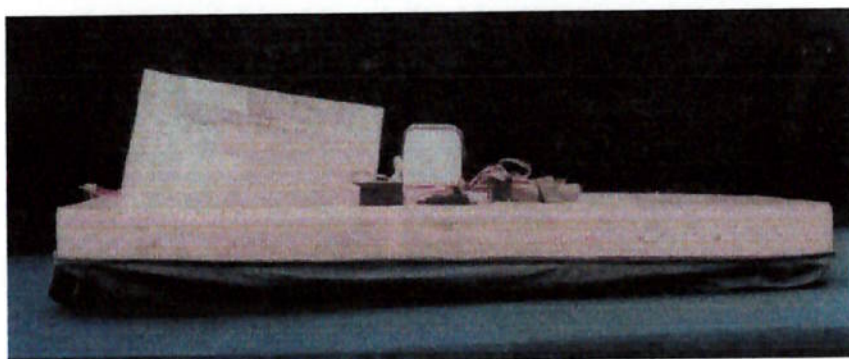
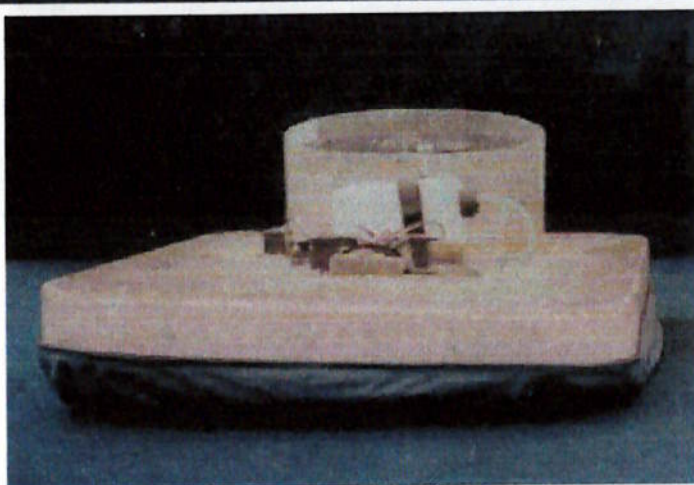


fig.32a,b,c,d:



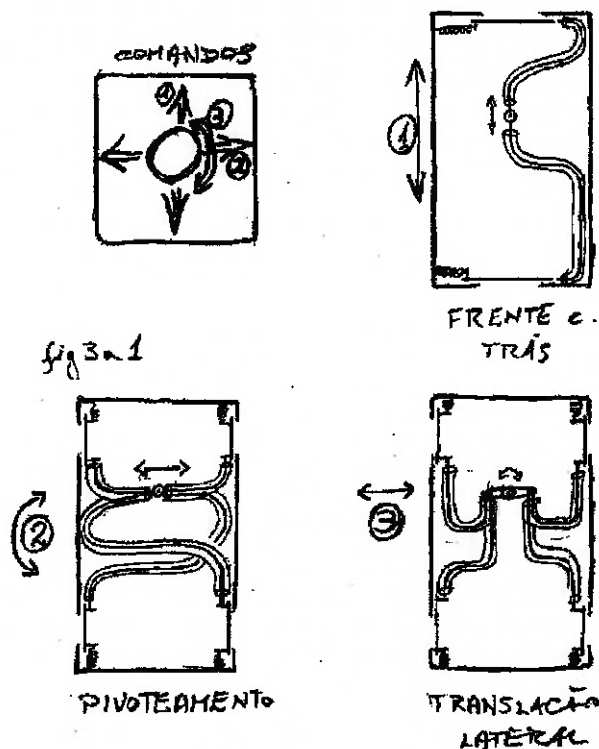
2.3.a. Ensaios dos dispositivos de manobrabilidade:

No item 2.1.g. (escolha da melhor solução dos dispositivos de manobrabilidade), a solução selecionada (manobrabilidade por jatos de ar) foi a melhor pontuada na matriz de soluções. Entretanto, o critério de avaliação 'eficácia' foi tratado de forma subjetiva uma vez que seriam necessários ensaios para julgá-lo.

Apesar da solução já estar conhecida, a sua implementação ainda não foi discutida. Temos que dispor dos seguintes movimentos independentes das janelas:

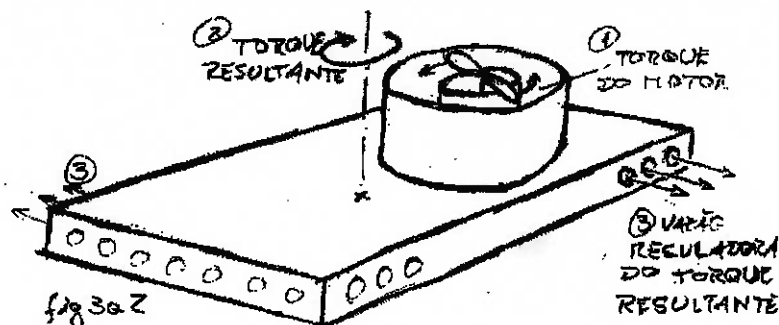
- abertura e fechamento das janelas de trás (deslocamento para frente)
- abertura e fechamento das janelas da frente (deslocamento para trás e frenagem)
- abertura e fechamento das janelas laterais direitas (deslocamento para esquerda)
- abertura e fechamento das janelas laterais esquerdas (deslocamento para direita)
- abertura e fechamento das janelas laterais direitas dianteiras e esquerdas traseiras (pivoteamento no sentido anti-horário)
- abertura e fechamento das janelas laterais esquerdas dianteiras e direitas traseiras (pivoteamento no sentido horário)

Observe que as janelas laterais realizam movimento combinado com diferentes outras janelas, de acordo com o movimento desejado, ou seja, a janela lateral esquerda traseira é acionada para o deslocamento para a direita (junto com a esquerda dianteira), e/ou para o pivoteamento anti-horário (junto com a direita dianteira). Para tal, o sistema de cabos comando foi projetado em separado para cada tipo de movimento (fig.3a1), e construídos com superposição, o que nos forneceu o resultado esperado.



Observamos a necessidade de criteriosa escolha do material dos cabos, que devem ser auto lubrificantes, pois graças à superposição de movimentos, existe a necessidade de passagem de dois cabos pelo mesmo conduto, o que gera atrito entre eles e caso não haja boa lubrificação há prejuízo no movimento.

Foi observada nos testes, uma reação de giro inesperada do veículo, graças ao torque do motor cujo eixo está na vertical. Uma vez que não há atrito com o solo, este torque gera uma rotação do veículo todo em torno de seu eixo vertical, na direção oposta à rotação do motor (fig.3a2). Para solucionar isto, precisamos compensar este giro com os jatos de ar das janelas diagonais que fornecem o inicialmente movimento de pivoteamento, que agora assume também a função de correção do giro indesejado. Graças ao nosso veículo atender com eficiência o quesito de plena manobrabilidade, não foi preciso adicionar nenhum sistema para corrigir o movimento indesejado. Entretanto, o pivoteamento no sentido do giro do motor ficou sensivelmente prejudicado em relação ao pivoteamento no sentido contrário ao giro do motor, pois este é beneficiado pelo torque do motor.



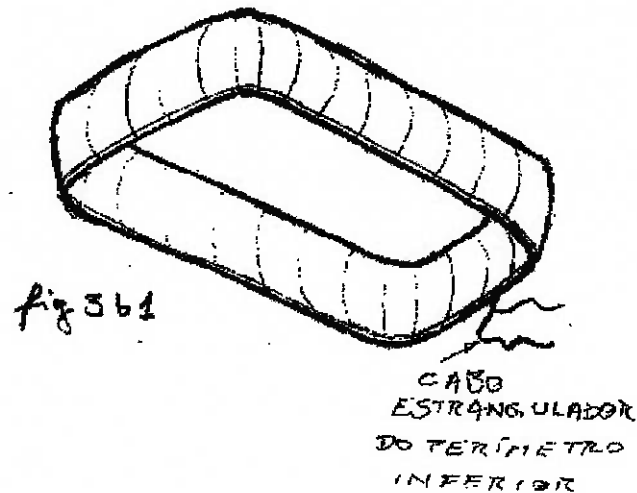
Os testes mostraram que o sistema de jatos de ar a partir de janelas reguláveis em todo o perímetro do veículo é bastante eficiente, permitindo todas as manobras inicialmente desejadas (deslocamento para frente, para trás, para os lados, pivoteamento, e imobilidade suspensa).

A operação do veículo entretanto, não é fácil uma vez que não é um sistema com o qual estamos acostumados. Exige muito treinamento do operador para se manter uma rota e realizar as curvas desejadas.

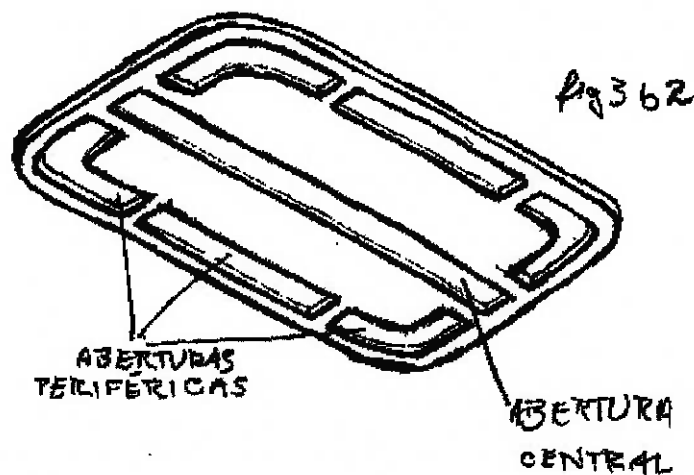
2.3.b. Ensaios do lay-out do colchão de ar:

A escolha do lay-out do colchão de ar no item 2.1.h. ficou incompleta por não dispor de dados de avaliação suficientes dos modelos de saias propostos. Foram então construídas todas as opções de saias propostas e testadas no modelo. Para minimizar custos, foi criado um sistema modular de composição do lay-out do colchão de ar, com os seguintes elementos:

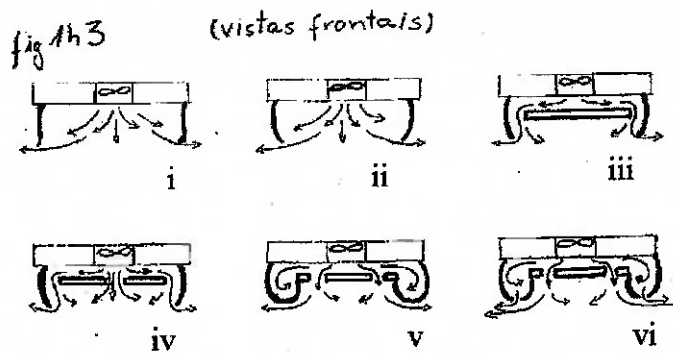
- I. saia 'cortina' com estrangulador de perímetro regulável e furos removíveis



- II. placa distribuidora do fluxo de sustentação com abertura central e aberturas periféricas removíveis



As opções de colchão de ar foram então obtidas da seguinte forma:



- i. *câmara aberta*: apenas elemento I com o estrangulador solto e furos tampados
- ii. *câmara aberta com aleta*: idem opção acima, com o estrangulador do elemento I parcialmente apertado.
- iii. *câmara com jato de ar simples*: elemento I com o estrangulador parcialmente apertado e furos tampados, e elemento II com todas as aberturas tampadas.
- iv. *câmara com jato de ar simples e saída central*: idem opção acima, com elemento II com abertura central aberta.
- v. *câmara com jato de ar e saia insuflada fechada*: elemento I com o estrangulador totalmente apertado e furos tampados, e elemento II com abertura central tampada e aberturas periféricas abertas.
- vi. *câmara com jato de ar e saia insuflada vazada*: idem opção acima, com furos do elemento I abertos.

Foram então realizados os seguintes ensaios, com os resultados a seguir:

- amplitude e constância da fresta:

Vamos analisar este critério de avaliação antes porque é o que apresentou as maiores discrepâncias entre as soluções de tipos de saias, influenciando no resultado de todos os demais critérios.

Basicamente, todas as soluções sem placa distribuidora do fluxo de sustentação ou com abertura central nesta placa (soluções i, ii, iv), apresentaram grande influência do impacto direto do fluxo de sustentação direto no solo, como acontecia no modelo construído no Estudo de Viabilidade, elevando excessivamente o veículo em acelerações, e tornando quase impossível a posterior estabilização das oscilações do veículo na vertical. A fresta nas demais soluções apresentou constância e boa amplitude. Nestas soluções, o deslocamento de massa na plataforma (desvio do CG) causou apenas a diminuição da fresta no lado de maior peso, não chegando a encostar a saia no solo. A solução vi, com buracos na saia apontando para o solo não apresentou o

benefício esperado de ter mais estabilidade na amplitude da fresta graças ao suave escoamento de ar pelos furos.

- eficiência na sustentação (peso que suporta):

As soluções com câmara aberta apresentaram instabilidade na pressão do colchão quando há deslocamento do CG em planta (movimento de massa sobre a plataforma), resultado mais intenso na solução i; apresentaram também deformação não constante ao longo do perímetro da saia com o aumento de carga na plataforma.

As soluções com jatos de ar simples apresentaram estabilidade na pressão do colchão mesmo com deslocamento do CG, e o aumento de carga na plataforma causou o desprendimento da saia de sua fixação à plataforma, após deformação quase por igual da saia ao longo de seu perímetro.

As soluções com jato de ar e saia insuflada apresentaram grande estabilidade da pressão do colchão com o deslocamento do CG, e não apresentaram deformação na saia com o aumento da carga na plataforma.

- estabilidade em curvas:

A solução com câmara aberta teve sua saia levantada do lado interno das curvas, deixando haver perda de pressão e perdendo desempenho. A câmara aberta com aletas não mostrou esta deficiência, mas as oscilações verticais do fluxo direto no solo prejudicaram muito a estabilidade do veículo nas curvas. O mesmo ocorreu com a solução iv (câmara com jatos de ar e saída central).

As soluções com placa distribuidora de fluxo de sustentação (iii, v, vi) apresentaram ótima constância da estrutura do colchão de ar em curvas.

- estabilidade em frenagens:

Observamos que o comportamento das soluções de colchão de ar nas frenagens foi o mesmo que nas curvas.

- desempenho em transpassar obstáculos (mantém pressão):

A habilidade em transpassar obstáculos foi maior nas saias sem a placa distribuidora de fluxo de sustentação, pois estas apresentam maior altura livre do casco.

Entretanto foram beneficiadas na transposição de irregularidades do terreno (lombadas e depressões) as saias com a placa distribuidora plena (iii, v, vi) pois mantiveram constância da fresta, adaptando sua forma às irregularidades.

As saias com câmara insuflada se beneficiaram na de abordagem de obstáculos pois a saia insuflada amortece o impacto do obstáculo no veículo. Este ensaio foi solicitado no item 2.7 Otimização Formal adiante.

Assim, a matriz de solução do Lay-out do Colchão de Ar fica da forma a seguir, colocando a saia com 'câmara com jato de ar simples' com a melhor pontuação. Notamos que sua pontuação está seguida com pouca diferença das saias insufladas, que apresentaram vantagens nos aspectos dinâmicos, mas perderam a classificação pelo seu custo de fabricação e manutenção.

Matriz de decisão do LAY-OUT DO COLCHÃO DE AR:

característica:	peso:	câmara aberta:		câmara aberta com aleta:		câmara com jato de ar simples:		câmara c/ jato ar simpl said centr:		câmara c/ jato ar saia insufi fech:		câmara c/ jato ar saia insufi centr:	
		nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso	nota	nota*peso
baixo custo de fabricação	9	9	81	8	72	7	63	7	63	6	54	6	54
baixo custo de manutenção	7	9	63	9	63	8	56	8	56	7	49	6	49
facilidade de manutenção	7	8	56	8	56	8	56	8	56	8	56	8	56
eficiência na sustentação	9	6	54	7	63	8	72	8	72	9	81	9	81
estabilidade em curvas	8	3	24	5	40	8	64	5	40	8	64	8	64
estabilidade em frenagens	7	3	21	5	35	8	56	5	35	8	56	8	56
amplit. e constância da fresta	8	6	48	6	48	9	72	7	56	8	64	8	64
desempenho em transpassar obstáculos (mantém pressão)	7	6	42	6	42	7	49	5	35	8	56	8	56
TOTAL ($\Sigma N * P$)		389		419		488		413		480			

2.3.c. Ensaios dos dispositivos de frenagem:

A eficácia do sistema de frenagem por defletor do fluxo de propulsão associado ao atrito direto do casco com o solo não pôde ser avaliada quando da escolha da melhor solução para os dispositivos de frenagem pois aguardava ensaios práticos.

Foram realizados ensaios comparativos entre três situações distintas de desaceleração:

1. veículo a determinada velocidade constante, tendo a propulsão cortada a partir de um ponto de referência fixo no terreno.
2. veículo a determinada velocidade constante, tendo a propulsão cortada e a janela dianteira do jato de ar de propulsão completamente aberta a partir de um ponto de referência fixo no terreno.
3. veículo a determinada velocidade constante, tendo a propulsão e a sustentação cortadas a partir de um ponto de referência fixo no terreno (uso do freio emergencial por atrito do casco com o solo).

Os resultados estão na tabela abaixo:

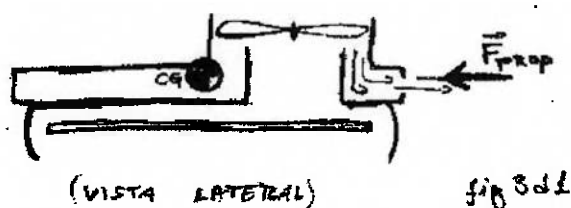
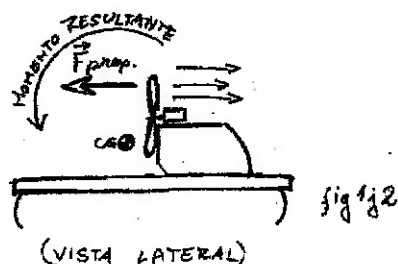
Situação de desaceleração:	1	2	3
Distância percorrida até a imobilidade (m):	5,0	3,5	0,8

Temos assim um resultado que mostra eficiência aceitável como freio por deflexão do fluxo de propulsão, e eficiência inquestionável como freio de emergência (apesar desta forma dever ser evitada por submeter a estrutura a esforços excessivos e desgastar as longarinas do freio emergencial).

2.3.d. Ensaios dos dispositivos de estabilidade ao roll e ao pitch:

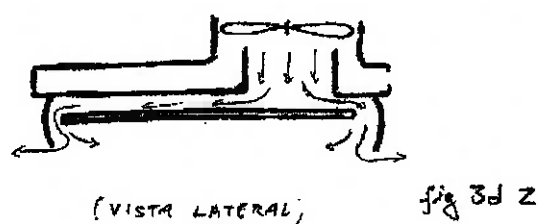
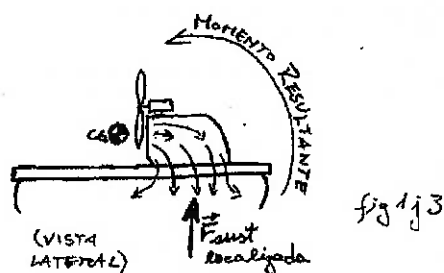
Do estudo das possíveis soluções para estabilidade ao **pitch**, ficaram pendentes as avaliações dos seguintes itens, seguidos dos resultados adquiridos nos ensaios:

- eliminação do momento gerado pelo fluxo horizontal de propulsão em posição alta::
Este binário foi completamente extinto com a verticalização do eixo de rotação da hélice e aproximação do fluxo de propulsão da cota do centro de giro transversal do veículo.



- presença da placa distribuidora do fluxo de sustentação:

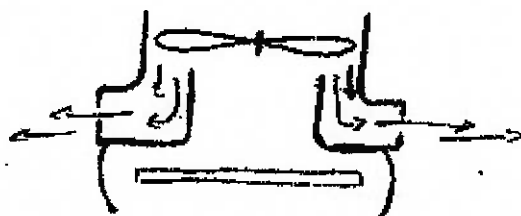
A vitalidade da presença desta placa já foi citada no item 2.3.b. (Ensaio do Lay-out do Colchão de Ar) e dispensa mais observações. Sua presença é fundamental para o desempenho, segurança e estabilidade do veículo.



Do estudo das possíveis soluções para estabilidade ao **roll**, ficaram pendentes as avaliações dos seguintes itens, seguidos dos resultados adquiridos nos ensaios:

- eliminação do momento que inclinava o veículo para os lados em curvas, gerado pelo leme alto, ao receber o fluxo de propulsão, observado no modelo executado no Estudo de Viabilidade:

O abaixamento do fluxo de propulsão para próximo à cota do centro de giro longitudinal do veículo eliminou este binário.



(VISTA FRONTAL)

fig 3d 3

- eliminação do momento que inclinava o veículo para os lados em curvas, gerado pelo CG alto, observado no modelo executado no Estudo de Viabilidade:

O abaixamento do CG (através da disposição do motor com eixo de rotação na vertical) para próximo à cota do centro de giro longitudinal do veículo eliminou este binário.

- eliminação do momento que inclinava o veículo para os lados em acelerações, gerado pelo torque do motor de eixo de rotação horizontal, observado no modelo executado no Estudo de Viabilidade:

A verticalização do eixo de rotação do motor eliminou este binário.

- ação da placa divisora do colchão de ar em dois colchões laterais:

A instalação desta placa não ofereceu resultado positivo nenhum na estabilidade do veículo ao roll. cremos que isto se explica por a pressão ser distribuída com a mesma intensidade pelo colchão, seja este único ou compartimentado.

2.3.e. Necessidade de novos ensaios, de acordo com tópicos abordados durante o projeto:

De acordo com o item 1.2 do Estudo de Viabilidade (Formulação do Projeto), existe o requisito funcional que define o nível de ruído máximo e o requisito operacional que define a autonomia do veículo. Estes pontos ainda não foram levantados para estudo e também não temos possibilidade de tratá-los enquanto não for construído um protótipo operacional do veículo, após o Projeto Executivo.

2.4 Análise de Sensibilidade:

Neste capítulo será feita a determinação dos parâmetros (elementos que relacionam as variáveis de entrada e de saída) aos quais o projeto é mais sensível. Assim, é feita uma simulação do desempenho do projeto. Essa simulação pode ser física ou matemática. Com isso, a análise de sensibilidade identifica os parâmetros críticos, e a adequabilidade das especificações adotadas, permitindo-se aumentar ou perder a confiança nas soluções em estudo.

Conforme pudemos notar no decorrer das tomadas de decisões e dos ensaios realizados, alguns parâmetros se mostraram extremamente decisivos para o sucesso do resultado obtido. Vamos então salientá-los aqui e analisar mais profundamente suas consequências.

A solução pelo motor com fluxo vertical alavancou nitidamente a possibilidade de alcançarmos várias metas, principalmente no aspecto do comportamento dinâmico do veículo, como já foi amplamente apresentado. Existe porém, mais um aspecto positivo consequente desta solução, que foi notado no teste sobre a água. Nos hovercrafts convencionais, a turbulência do fluxo de sustentação passando pela periferia da saia, levanta uma quantidade excessiva de partículas (gotas de água) gerando uma verdadeira nuvem de gáticulas de água em redor de todo veículo. Isto gera grande desconforto para os ocupantes, que passam a ficar completamente molhados caso não usarem uma capa protetora de borracha. O mesmo efeito se passa na areia, que pode ser até danoso para os ocupantes no caso de partículas incomodarem os olhos ou a respiração dos ocupantes. Este efeito se torna mais grave com o veículo em baixa velocidade, quando assim ele se encontra plenamente envolvido nas partículas. A solução apresentada neste projeto sanou este inconveniente através dos jatos de propulsão ao redor do casco do veículo, que criam um escoamento horizontal radial ao redor do veículo, afastando as partículas que tentam subir do solo. Mesmo na situação de imobilidade (que podemos alcançar ou fechando todas as janelas, ou abrindo todas), conseguimos ter pleno conforto com o veículo sustentado sobre seu colchão, através da abertura de todas as janelas, criando assim o 'plano' horizontal de escoamento radial, que afasta as partículas que sobem do solo.

Um outro parâmetro que se mostrou fundamental no desempenho dinâmico do veículo foi a placa distribuidora do fluxo de sustentação, como visto nos ensaios dos modelos analógico-funcionais.

A escolha pelo tipo de hélice apropriado (fina e longa ou curta e larga) também teve importante e substancial diferencial nos resultados de desempenho obtidos, como vimos no estudo aerodinâmico realizado. Novamente notamos mais um resultado positivo ainda não citado, que foi o conforto acústico. O ensaio com a hélice fona e longa de duas pás, apresentou um alto nível de ruído e de vibração, decorrentes das altas velocidades de ar pelos dutos. Quando aplicamos a hélice de três pás, mais larga e curta, obtivemos a redução do nível e também da vibração.

2.5 Análise de Compatibilidade:

Este capítulo destina-se ao estudo de compatibilidade entre características internas funcionais e dimensionais. Havendo discrepâncias, os parâmetros menos críticos são os que podem ser alterados.

Ao longo de todo processo de seleção de soluções e principalmente na fase de montagem do modelo para ensaios, a possibilidade de disposição física compatível entre os sistemas foi sendo observada. Assim, muitas das decisões pertinentes a este capítulo já estão solucionadas.

Há entretanto três tópicos que estão com suas implementações físicas pendentes, que são:

- operação da manobrabilidade (comandos)
- trimagem para o contra-giro causado pelo torque do motor
- mecanismo de abertura das janelas de propulsão

Já foi esclarecida como se dá a transmissão do movimento de uma central de controle para as janelas de propulsão. Mas a forma de operar esta central de controle ainda não está definida. Geramos os movimentos nas janelas através de 'push rods', ou seja, tubos flexíveis com cabos de aço passando por seu interior, que agem na extremidade oposta à central de controle por tração dos cabos. O retorno das janelas se dá por ação de molas.

Para operar as janelas queremos executar os seguintes comandos independentemente um do outro, e da forma mais simples o possível:

- deslocamento para frente
- deslocamento para trás
- deslocamento para os dois lados
- rotação em torno do próprio eixo nos dois sentidos
- aceleração e desaceleração do motor

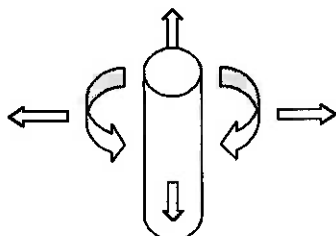
Considerando aspectos ergonômicos, seria interessante conseguir estes movimentos com o mínimo de complexidade de comandos o possível, o máximo de conforto e o mínimo de força para o operador.

Chegamos então à seguinte solução: controles de manobrabilidade concentrados em uma única alavanca (alavancas permitem com muita facilidade a dosagem da força exercida pelo operador, através das distâncias dos braços impostas), e o controle da rotação do motor através de uma outra alavanca estilo acelerador de lancha (sem retorno automático, para frente acelera o motor, e para trás desacelera).

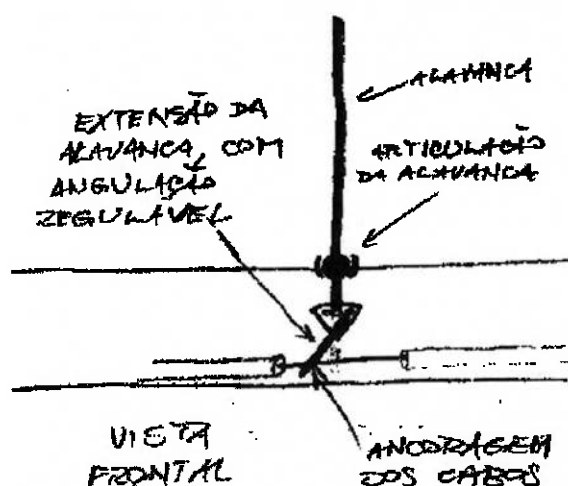
A alavanca de manobrabilidade dispõe dos seguintes movimentos:

- para frente e para trás com retorno com molas: abertura das janelas traseiras e dianteiras respectivamente
- para a esquerda e direita com retorno com molas: abertura das janelas diagonal esquerda e diagonal direita respectivamente
- torção da alavanca no sentido horário e anti-horário com retorno com molas: abertura das janelas esquerdas e direitas respectivamente.

Seria intuitivo imaginar que a torção da alavanca gerasse o giro do veículo em torno do próprio eixo, e não o seu deslocamento lateral. Mas chegamos à conclusão no ensaios, que a manobra de realizar uma curva em movimento com este hovercraft se dá com mais eficiência através dos comandos das janelas diagonais, e o movimento de braço mais ergonômico para executar uma curva (manobra mais frequentemente realizada) é o do braço para um lado o para o outro, e não a torção da alavanca.

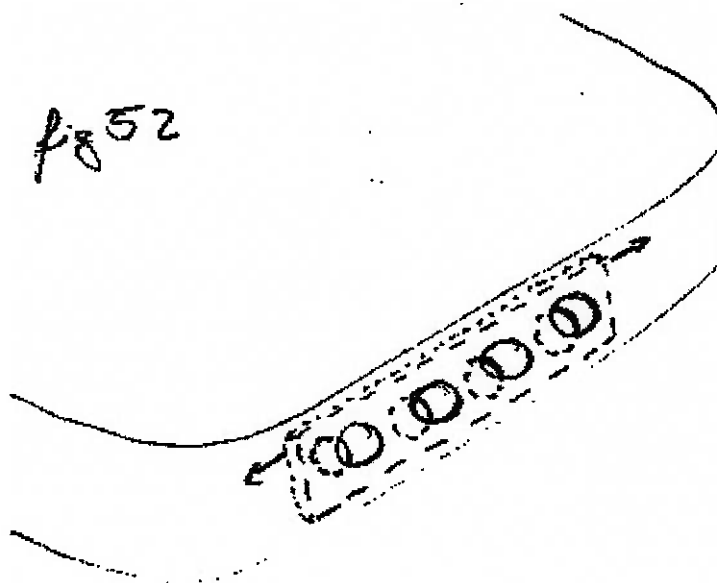


Existe a outra problemática citada no início deste capítulo, que é a trimagem para o contra-giro causado pelo torque do motor. Ou seja, o torque do motor de eixo vertical gera um suave e lento giro do veículo no sentido oposto. Seria interessante que os comandos na posição central de descanso, deixassem o veículo imóvel ou em movimento uniforme, quando este estiver suspenso sobre seu colchão de ar. A trimagem de um comando é exatamente o posicionamento da posição central do comando conforme desejado. Neste caso, temos que trimar o movimento da alavanca de comando para a direita e para a esquerda (rotação do veículo). A solução mecânica para cumprir estas metas está representada a seguir:



Pela regulagem da angulação da extensão da alavanca (através de uma tampa a ser feita no assoalho da plataforma), podemos controlar facilmente o ponto central da rotação em torno do próprio eixo do veículo, compensando assim o torque do motor.

A problemática do mecanismo de abertura das janelas de propulsão é um ponto que ainda não foi esclarecido. Propomos uma solução simples através de placas deslizantes também com janelas, por dentro da câmara de propulsão, cujo movimento faz coincidir a janela de propulsão do veículo com a janela da placa, como mostra a fig.52 a seguir:



Concluimos assim a apresentação da viabilidade física de todos os sistemas propostos até aqui.

2.6 Análise de Estabilidade:

O funcionamento do produto deve responder adequadamente de modo a apresentar estabilidade mesmo perante entradas indesejadas até limites aceitáveis, ou condições do meio ambiente. Para tal, devemos:

- nos certificar que o sistema ou seus componentes não sejam instáveis
- determinar as reais faixas de instabilidade de entradas e de parâmetros
- avaliar riscos e consequências das perturbações mais intensas que o permitido.

Assim, listamos as principais entradas indesejáveis abaixo, que a seguir serão discutidas:

- falha no motor
- quebra de hélice
- excesso de peso
- obstáculo maior que o especificado
- rompimento de parte da saia
- rompimento de comandos de dirigibilidade
- ejeção do piloto

Caso o motor do veículo apresente pane, temos um resultado bastante seguro, que será a perda instantânea da pressão de sustentação e da força de propulsão. Dizemos seguro porque não teremos as mesmas consequências de por exemplo uma pane no motor de um avião, que causa uma instabilidade irreversível da condição básica de funcionamento do aparelho, que é o voo. Fora a situação de voo, um avião deve contar com uma pista especialmente preparada para sua aterrissagem. No nosso caso, teremos também a instabilidade irreversível da condição básica de funcionamento do aparelho (a sustentação), mas nosso aparelho sem sustentação nem propulsão simplesmente assenta sobre qualquer terreno que se encontre sob ele. E mesmo esta aterrissagem não apresenta grandes riscos aos ocupantes pois o esvaziamento do colchão se dá de forma gradual, mesmo com o corte imediato do motor. Assim, o veículo passará por uma situação de frenagem de emergência involuntária, mas que já era uma situação prevista para a estrutura do veículo.

Já a quebra de uma pá da hélice é uma situação extremamente crítica pois os ocupantes estão no plano da trajetória desta pá (o motor é de fluxo vertical, e a pá escaparia na horizontal), e a ausência de uma pá no eixo do motor em rotação geraria uma vibração de tamanha amplitude que poderia romper a fixação do motor ou até a estrutura de sustento desta fixação. Isto com o restante da hélice em rotação, pode ter consequências gravíssimas para a estrutura do veículo e principalmente para os ocupantes do veículo.

Assim, para minimizar estas consequências, as seguintes medidas serão tomadas:

- o veículo sairá da linha de montagem com uma hélice de excelente qualidade (resistência, balanceamento), e existirá uma etiqueta em lugar visível orientando o uso apenas de hélices fornecidas pelo fabricante.
- a tela de proteção da entrada do duto da hélice será de material bastante resistente, e sua malha terá no máximo 2 polegadas de arame a arame.
- o material e a estrutura do duto da hélice serão reforçados para tentar evitar a saída de uma eventual pá de hélice rompida

Outra entrada indesejada seria o excesso de peso sobre a plataforma do veículo. A resposta a esta entrada também não compromete nem a estrutura do veículo nem a segurança dos ocupantes pois teríamos apenas a perda de rendimento de sustentação e propulsão. Levando isso a um caso extremo, o veículo simplesmente não teria pressão para se sustentar e ficaria imóvel.

Caso o veículo se depare com outra entrada indesejada, um obstáculo maior que o especificado, teremos dependendo da velocidade do veículo, danos importantes na estrutura do mesmo. Caso o obstáculo seja maior que a altura livre do casco, este obstáculo colidirá com a placa distribuidora do fluxo de sustentação, podendo além de rompê-la, desacelerar bruscamente o veículo causando danos estruturais e também danos para os ocupantes.

Existe também a possibilidade de ocorrer o rompimento de parte da saia, graças ao atrito constante com as irregularidades do terreno, ou graças a um obstáculo específico que danifique um pedaço da saia. Este resultado já é esperado, e sabemos que a saia é um elemento de contato (mesmo que suave) com o solo e de impacto com obstáculos, e pode sofrer danos em sua vida útil. A consequência imediata deste rompimento, caso ele seja de grande amplitude, será a perda da pressão de sustentação, causando a imobilidade do veículo e consequente necessidade de substituição da saia (ou reparo da mesma). Caso este rompimento seja de pequena amplitude (um tiro de arma de fogo, pequenas fissuras, etc), a vazão perdida por esse rompimento não será suficiente para alterar o desempenho do veículo. Assim, a saia deve ser considerada um elemento de consumo, e por isso, seu custo deve ser minimizado.

Pode ocorrer também o rompimento dos comandos de dirigibilidade, ou seja dos cabos de controle das janelas de propulsão. Como a tração de um cabo causa a abertura da respectiva janela e o retorno se dá por ação de mola, caso este cabo se rompa a janela se fechará automaticamente. A ação instintiva do operador ao perceber uma pane será soltar os comandos (o que fechará todas as demais janelas, mas o veículo continuará com sustentação e em movimento uniforme), ou puxar a alavanca para frear o veículo defletindo o fluxo para frente (o que terá resultado caso não tenha sido o cabo das janelas frontais que se tenham rompido). Assim, o operador deverá conscientemente desacelerar o motor acionando a frenagem de emergência (atrito direto do casco com o solo). De qualquer forma, é baixa a possibilidade de ocorrer uma situação de risco com esta pane. Ainda assim, esta situação e consequente ação do operador deve ser citada com detalhes no manual de operação do veículo.

Em alguma situação de manobra voluntária do piloto, ou de manobra acidental (colisão, etc), pode ocorrer a ejeção do piloto para fora do veículo. Com isto as janelas se fechariam e o veículo seguiria em movimento uniforme na tangente da direção que seguia. A sustentação e a propulsão não sofreriam alteração pois a alavanca de aceleração do motor não tem retorno automático. Esta situação pode ser bastante perigosa tanto para o operador que foi lançado para fora do veículo, quanto para os demais ocupantes (que ficam entregues à rota do veículo) e para os transeuntes do local que podem ser atropelados pelo veículo. Devemos evitar ou criar dispositivos de segurança contra este resultado. A idéia é então, fazer com que o veículo tenha um sensor de presença do piloto de forma a desligar o motor quando o piloto se ausente. Faremos então um sistema simples de chave de ignição amarrada ao pulso do piloto através de um cabo de material sintético, como se utiliza no jetskis atualmente.

2.7 Otimização Formal:

Neste capítulo de otimização formal, faremos a definição precisa dos parâmetros do projeto que não apresentam ainda o resultado desejado ou que ainda não foram plenamente desenvolvidos, chegando-se à combinação ótima. Estas definições devem ser feitas sensatamente sobre as soluções estudadas, ou podem se dar através de modificações de soluções que foram analisadas, ou através de reestudos e reensaaios sobre soluções até então igualmente boas. Para tal, os critérios de seleção devem estar solidamente definidos.

Abordaremos então neste capítulo os seguintes tópicos:

- 2.7.a. escolha de um tipo de redução
- 2.7.b. nível de ruído gerado pela hélice
- 2.7.c. nível de ruído gerado pelo escoamento do ar nos dutos
- 2.7.d. utilizar ou não divisor de fluxo propulsão/sustentação variável ?
- 2.7.e. parte elétrica de acordo com regulamentação
- 2.7.f. ângulo de inclinação lateral da saia
- 2.7.g. diminuição do custo de manutenção da saia e aumento da facilidade de manutenção
- 2.7.h. elementos de flutuabilidade
- 2.7.i. redução da perda de carga nas janelas de propulsão

Ao final deste capítulo esperamos ter definido todos os parâmetros esperados neste projeto básico, ou seja, a formulação completa da proposta inicial do projeto.

2.7.a. escolha de um tipo de redução:

Na próxima etapa do projeto, o Projeto executivo, será dimensionada a hélice e selecionado o fornecedor para a mesma. Neste ponto será definida a faixa de rotação que a hélice deverá trabalhar, de acordo com a vazão que esperamos. Esta rotação deverá compatibilizar-se com a faixa de rotação do motor no seu melhor rendimento de potência para minimizar o consumo e maximizar a vida útil do motor.

A compatibilização das rotações ocorre através de algum sistema de redução que pode ser por engrenagens, por corrente, por correia ou por atrito viscoso.

Temos que focar aqui dois critérios de escolha, que são o nível de ruído (problemática séria observada nas reduções dos hovercrafts pesquisados), no custo e na facilidade de manutenção.

Por nível de ruído escolheríamos a correia ou o atrito viscoso. Por custo escolheríamos a corrente ou a correia. Por facilidade de manutenção escolheríamos as engrenagens.

Sai daí então a escolha do sistema de correias com polias dentadas por apresentar baixo nível de ruído e baixo custo. Sua manutenção apesar de não ser a mais simples dentre as soluções apresentadas, é de extrema simplicidade, exigindo apenas a troca da correia de tempos em tempos.

2.7.b. nível de ruído gerado pela hélice:

A cadência do impacto das pás da hélice no ar gera uma frequência constante de impactos em cada rotação do motor. Essa frequência do deslocamento de ar está diretamente relacionada à geração de ruído, o que acontece efetivamente. Para solucionar esta problemática buscamos quebrar esta constância na cadência descaracterizando a frequência. Faremos então a escolha de hélices com pás defasadas (se forem 5 pás, cada pá não deve estar defasada da outra sempre de 72 graus, e sim por exemplo 70, 70, 77, 70, 74). Isto soluciona o problema, mas gera um outro que é o balanceamento crítico desta hélice, o que um bom fornecedor pode se responsabilizar.

2.7.c. nível de ruído gerado pelo escoamento do ar nos dutos:

As altas velocidades do escoamento de ar pelos dutos do veículo é um dos maiores geradores de ruído no hovercraft. Ela gera também vibrações de alta frequência na estrutura, o que pode abalá-la por fadiga.

Para minimizar este sintoma devemos procurar dimensionar os dutos com o maior diâmetro possível, manter o motor e a hélice na menor rotação possível e utilizar hélices de maior diâmetro que pudermos.

Como o diâmetro dos dutos e da hélice já estão definidos, podemos neste item trabalhar apenas a rotação do motor e da hélice, atentando a isto durante a escolha da hélice e da redução do por correia.

2.7.d. utilizar ou não divisor de fluxo propulsão/sustentação variável ?

Voltamos a esta temática no final do projeto pois agora todo restante está melhor definido e assim a decisão sobre este ponto pode ser mais embasada.

Poderíamos optar agora por desenvolver o sistema concêntrico de variação do fluxo de propulsão / sustentação por diafragma citado no item 2.1.c. , que pode até mesmo ser microprocessado de forma a manter por exemplo a fresta constante num valor determinado pelo operador.

Não é uma proposta de todo complexa, e poderia plenamente ser desenvolvida e implementada. Porém, mais uma vez observaremos o contexto econômico atual, que mostra a dimensão que os programas de ‘cost reduction’ estão tomando nas montadoras de veículos para viabilizar economicamente seus projetos. Nós não faremos então o caminho de ida para depois encontrar a volta, gastando verba em ambos. Levaremos sim o de ida apenas até o ponto ótimo. Assim, o sistema de de variação do fluxo de propulsão / sustentação por diafragma não será desenvolvido agora, mas poderia ser desenvolvido à posteriore apenas como conceito para manter nosso produto na ponta da tecnologia.

2.7.e. parte elétrica de acordo com regulamentação:

Existe uma normatização muito rígida relacionada a veículos para que estes possam trafegar regularmente. Estas normas se referem à parte de segurança dos ocupantes, sinalização luminosa (parte elétrica) do veículo, emissão de poluentes, nível de ruído, dimensões e outros tópicos.

A parte elétrica é a que ainda não foi citada neste projeto, e inclui a inserção de luzes de navegação (no caso de deslocamento sobre água), de faróis, lanternas traseiras, luzes de freio, setas de pisca, etc. Esta instalação exige um minucioso pré projeto inclusive da roteação de seus condutos. Como nosso veículo apresenta uma grande simplicidade construtiva em forma de caixa, esta roteação não será problema, e o detalhamento da instalação será elaborado na próxima etapa do projeto, o Projeto Executivo.

2.7.f. . ângulo de inclinação lateral da saia:

A dificuldade de frenagem e de realizar curvas graças à ausência de atrito com o solo é um fator de constante preocupação quanto à segurança dos ocupantes. Observamos a possibilidade de aproveitar a geometria da saia inflada no perímetro do veículo para exercer uma outra função além da sustentação: a de amortecer impactos. Assim, quanto maior for a projeção da saia para fora dos limites da dimensão da plataforma do veículo, maior será este efeito de amortecimento de impactos. A esta extensão da dimensão do veículo pela saia, chamamos de ‘ângulo de inclinação lateral da saia’.

Porém, para testar a eficiência desta proposta, temos que lançar mão de ensaios no modelo analógico-funcional do capítulo 2.3.

2.7.g. diminuição do custo de manutenção da saia e aumento da facilidade de manutenção:

Como citado no capítulo anterior, o rompimento da saia é uma saída indesejada, porém prevista e esperada. Por isto queremos minimizar aqui o custo de manutenção deste item e facilitar ao máximo sua manutenção.

A solução que propomos é então dividir a saia em ‘gomos’, ou seja em trechos independentes ao longo do perímetro do veículo, de forma que se um gomo é lesado, apenas ele será substituído (menor custo de material substituído, e maior facilidade de manuseio da operação).

Como nosso veículo tem 15 metros de perímetro, uma idéia inicial seria fazer gomos de 1 metro.

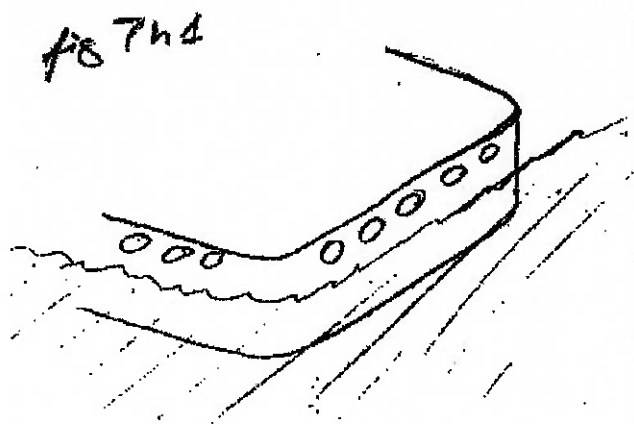
2.7.h. elementos de flutuabilidade:

Item fundamental na segurança do veículo: garantir sua flutuabilidade na água.



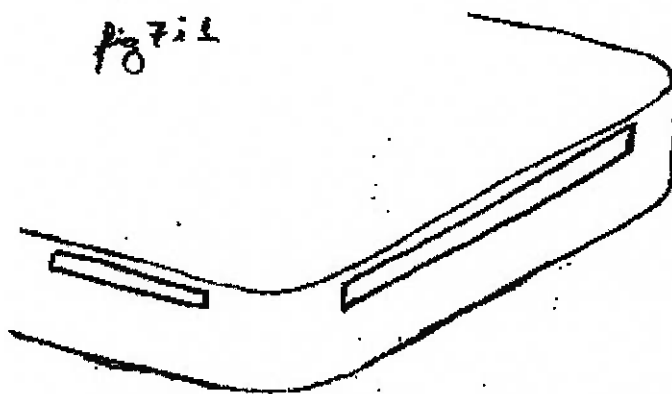
Uma vez sendo um veículo todo-terreno, devemos contar com sua flutuabilidade na água em caso de corte na pressão do colchão de ar. Para tal, devemos garantir uma entre duas coisas: ou o veículo é estanque, ou ele é submersível apesar de flutuante. Ou seja, para ele flutuar, basta contar com uma força empuxo maior que a força peso. E o empuxo é proporcional ao volume (densidade). Se o volume 'seco' do veículo for passível de ser preenchido com água, o veículo é submersível; se o volume 'seco' do veículo não for passível de ser preenchido com água (se estiver preenchido com isopor por exemplo, ou se for feito de tanques lacrados), o veículo é estanque.

O nosso veículo é muito difícil de ser tornado estanque pois isso exigiria um aumento de volume com compartimentos lacrados. Não temos espaço para isso. Portanto trataremos de tornar maior possível o volume seco, através da elevação das janelas de propulsão na altura da câmara de propulsão, como visto na figura 7h1:



2.7.i. redução da perda de carga nas janelas de propulsão:

O rendimento energético do escoamento de ar pelos dutos também pode ser melhorado através da remodelagem do principal elemento gerador de perdas, que são as janelas de propulsão. Elas foram concebidas como uma sequência de janelas em formato circular, construídas no modelo como uma sequência de janelas em formato quadrado, porém se forem executadas como apenas uma fresta (fig. 7i1), teremos minimizado perímetro de janela e melhoraremos o K_s (coeficiente de perda de carga singular).



2.8 Previsões para o Futuro e **Tempo de Funcionamento:**

Tempo de Funcionamento:

A determinação do tempo de funcionamento do produto envolve os seguintes aspectos:

- Vida útil: período durante o qual a utilidade líquida do produto seja maior que a dos concorrentes. (utilidade líquida = valor positivo de utilização – custos de aquisição, operação e manutenção do produto).
- Período real de utilização: determinado pelo fim do produto por desgaste, obsolescência econômica (utilidade líquida positiva), ou obsolescência técnica. O ideal é que cada um destes três fatores determine o mesmo período de utilização do produto, pois assim abaixaríamos custos de projeto ou fabricação, não se contendo em primar por um aspecto se o período de utilização foi determinado mais curto por um outro aspecto.

Por ser um conceito ainda muito pouco explorado no Brasil, a vida útil do hovercraft Raia (como será denominado o projeto no próximo capítulo) é efetivamente longa se acompanhada de uma eficiente promoção, não tendo um motivo visível a médio prazo para determinar seu fim, a não ser o surgimento de concorrentes que venham a dividir o mercado. Cremos que o Valor Positivo de Utilização, também chamado de Valor Percebido do Raia seja tão grande e abrangente, que seu Custo de Aquisição represente muito pouco, o que nos fornece uma significativa Vida Útil.

O Período de Utilização do Raia se aproxima aos dez anos, que é o tempo estimado de duração da estrutura polimérica da fibra de vidro. E comparado com o Tempo de Obsolescência Técnica e o Tempo de Obsolescência Econômica (que como justo explicado devem ser realmente longos), o Período de Utilização é decididamente o menor.

Previsões para o futuro:

Devemos buscar agora, uma visão estratégica da posição deste projeto no contexto da época futura quando ele estará sendo colocado no mercado, quanto às futuras condições sócio-econômicas, e de obsolescência técnica (projeto evolutivo ou inovador).

O produto poderia ser lançado no mercado dentro de três anos, quando ainda não deve haver concorrentes nacionais. Observamos alguns setores do mercado já interessados no conceito do hovercraft tradicional, como a Defesa Civil de São Paulo, mas que pouco utilizam os veículos efetivamente, justamente por eles não apresentarem as vantagens de manobrabilidade do Raia.

Vislumbramos também a possibilidade de colocar o produto no mercado bem antes disso, em forma de modelo reduzido, seja como brinquedo para crianças, seja como 'hobbie' para adultos modelistas.

2.9 Conclusão:

Uma vez lançada a proposta de se desenvolver um veículo todo terreno e plena manobrabilidade, nos vemos neste momento com o objetivo alcançado. Está criada uma nova concepção de veículo jamais vista, um veículo que galga qualquer tipo de terreno, com condição de manobrar em todos graus de liberdade do plano.

Ao longo de nosso Projeto Básico buscamos soluções para todos os subsistemas do veículo e inúmeras possibilidades foram levantadas e estudadas. Uma vez definidas as escolhas ótimas sobre cada sub-conjunto, buscamos uma visão holística integrando os sub-conjuntos, chegamos a uma solução final única que reuniu as soluções individuais observando onde e como podíamos simplificar o projeto através da tentativa de convergência de sistemas executando mais de uma função (finalidade de um capítulo chamado Simplificação do Projeto, que foi suprimido por ter se diluído ao longo de todo trabalho). Ou seja, após termos estudado cada sub-sistema profundamente em suas complexidades, usufruimos de toda bagagem que estes estudos nos agregaram, para buscar a solução mais simples que cumpra todas as metas desejadas, para que ao final, um suposto observador avalie o projeto como sendo extremamente simples e econômico, ser saber contudo, de todo o estudo e esforço feito para se chegar a estas soluções tão simples, que partiram de propostas tão complexas. Ou seja, chegar na excelência de um projeto inteligente: eficaz, simples e barato.

Nossa proposta de engenharia de encontrar essa solução está concluída e o pré dimensionamento executado. Cabe agora à próxima etapa, o Projeto Executivo, dimensionar cada subsistema apresentado nesta edição. Temos agora, ao final do projeto básico, uma sólida base para a execução do projeto executivo, pois nele será tomada a decisão de continuar ou abandonar o projeto.

Este projeto recebe agora a denominação de “Raia” .

bibliografia:

- | | |
|--|--|
| Homebuilt Hovercraft – Air Cushion Vehicles | Williams, G. H. |
| Marine Modeling november 1995 | Pryor , Tim |
| Automotive Handbook 2 nd edition | Bosh – SAE (Society of Automotive Engineering) |
| Fundamentos da Termodinâmica Clássica | VanWylen, Gordon J. |
| Introdução à Mecânica dos Fluidos | McDonald, Alan T. |
| Metodologia de Projeto | Madureira, Omar Moore de |