

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PMC-580 & 581

PROJETO MECÂNICO I e II

ESTUDO DE VIABILIDADE

PROJETO BÁSICO

VEÍCULO VERSÁTIL EM QUALQUER TERRENO

HOVERCRAFT

Orientador : Prof. Omar Moore de Madureira

**Co-Orientadores : Prof. Antônio Luís de Campos Mariani
Prof. José Sotello Jr.**

**Alunos Autores : Irene Akiko Sakuramoto
Ji Woong Paik
Meiji Imayuki**

1994

AGRADECIMENTOS

Ficam aqui os nossos agradecimentos ao Professor Omar Moore de Madureira que tão bem nos soube orientar na realização deste trabalho e principalmente pela visão de profissionalismo que adquirimos durante sua orientação.

Agradecemos ao Professor Antônio Luís de Campos Mariani pela orientação e apoio integral, mesmo estando bastante atarefado com a conclusão de sua tese de mestrado. Além disso, fornecendo-nos um espaço, materiais, ferramentas, equipamentos e literaturas, que foram imprescindíveis para a construção do modelo funcional.

Gostaríamos de agradecer, também, aos Professores José Sotello Jr. e Francisco Nigro.

Agradecemos ao Técnico João, da área de Mecânica dos Fluidos, pela ajuda que nos foi dada durante a construção dos modelos.

Nossos agradecimentos aos colegas Giovanni Giuseppe Bacigalupo, Jiro Augusto Ogassawara, Marcelo de Carvalho Pinto, Fábio da Silva Pereira (Cazuza) e Leonardo Sakaue, pelo empréstimo de materiais e equipamentos.

Finalmente, agradecemos ao Engenheiro Podalyro A. de Souza pelas idéias e sugestões, bem como inúmeras literaturas específicas sobre o assunto que nos foram fornecidas.

Irene Akiko Sakuramoto

Ji Woong Paik

Meiji Imayuki

ÍNDICE

PARTE I - ESTUDO DE VIABILIDADE

| | PÁGINA |
|------------------------------------|--------|
| 1) ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE | 1 |
| 2) FORMULAÇÃO DO PROJETO | |
| 2.1) ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS | |
| 2.1.1) ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS | 3 |
| 2.1.2) ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS | 6 |
| 2.1.3) ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS | 7 |
| 3) SÍNTESE DE SOLUÇÕES | 9 |
| • SOLUÇÃO 1 | 13 |
| • SOLUÇÃO 2 | 15 |
| • SOLUÇÃO 3 | 16 |
| • SOLUÇÃO 4 | 17 |
| • SOLUÇÃO 5 | 19 |
| • SOLUÇÃO 6 | 20 |
| • SOLUÇÃO 7 | 21 |
| 4) EXEQUIBILIDADE FÍSICA | |
| • SOLUÇÃO 1 | 23 |
| • SOLUÇÃO 2 | 24 |
| • SOLUÇÃO 3 | 24 |
| • SOLUÇÃO 4 | 26 |
| • SOLUÇÃO 5 | 27 |
| • SOLUÇÃO 6 | 27 |
| • SOLUÇÃO 7 | 28 |
| 5) VIABILIDADE ECONÔMICA | |
| • VIABILIDADE PARA O FABRICANTE | 29 |
| • VIABILIDADE PARA O USUÁRIO | 33 |
| 6) VIABILIDADE FINANCEIRA | 34 |

ÍNDICE

PARTE II - PROJETO BÁSICO

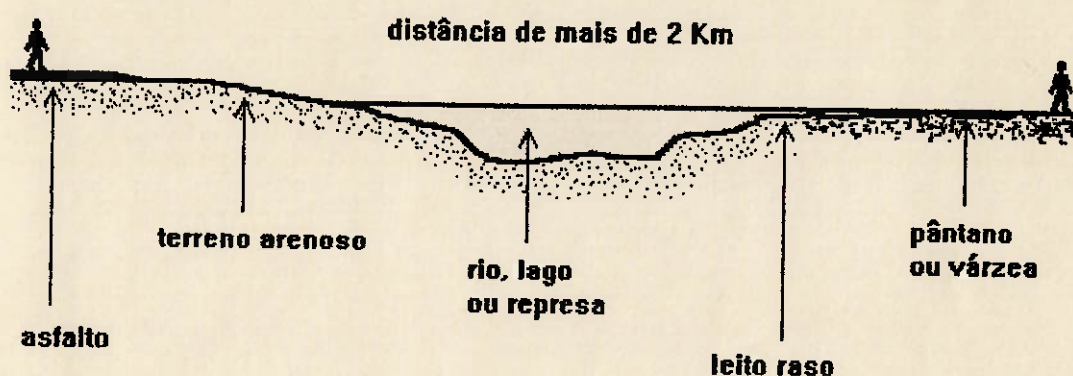
| | PÁGINA |
|--|--------|
| 1) ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO | 35 |
| 2) MODELAGEM DO PROJETO | 43 |
| 2.1) MODELO ICÔNICO | 43 |
| 2.2) MODELO ANALÓGICO | 47 |
| 2.2.1) CONSTRUÇÃO DE MODELO ANALÓGICO | 47 |
| 2.3) MODELO SIMBÓLICO | 51 |
| 2.3.1) MODELO MATEMÁTICO - SUSTENTAÇÃO | 51 |
| 2.3.2) MODELO MATEMÁTICO - PROPULSÃO | 55 |
| 2.3.3) CÁLCULO ESTIMATIVO | 60 |
| 3) ANÁLISE DA SENSIBILIDADE | 62 |
| 3.1) SENSIBILIDADE PARA SUSTENTAÇÃO | 62 |
| 3.2) SENSIBILIDADE PARA PROPULSÃO | 67 |
| 4) ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE | 71 |
| 4.1) COMPATIBILIDADE FUNCIONAL | 71 |
| 4.2) COMPATIBILIDADE DIMENSIONAL | 72 |
| 5) ANÁLISE DA ESTABILIDADE | 73 |
| 5.1) ESTABILIDADE INTRÍNSECA | 73 |
| 5.2) ESTABILIDADE EXTRÍNSECA | 73 |
| 6) PREVISÕES PARA O FUTURO | 75 |
| 7) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 76 |

ANEXOS

***PARTE I - ESTUDO
DE VIABILIDADE***

1) ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

A proposta desse estudo surgiu da detecção de uma necessidade do mercado, ainda não muito bem satisfeita, para pessoas que precisam se locomover de um ponto a outro, de modo rápido, seguro e econômico, sendo que entre esses dois pontos há uma diversidade de superfícies, como por exemplo asfalto, terra, terreno arenoso, gramado, pasto, rio, lagoa, represa, pântano, várzea, áreas alagadas, mar e até mesmo gelo e neve, como ilustra a figura abaixo:



Hoje, o que se vê normalmente é que para cada superfície são utilizados veículos com aplicações específicas, como barcos, lanchas, jet-skis, navios na água e carros, caminhões e motos no solo.

Por exemplo, pode-se supor que um fazendeiro queira fazer uma vistoria em sua propriedade pessoalmente, sendo que para percorrer as suas terras é preciso atravessar trechos de terra, pastos, lagoas, áreas alagadas e várzeas.

Para tanto ele precisaria utilizar-se de pelo menos dois tipos de veículos: uma camioneta e um aero-barco. Além disso, na transição entre esses veículos teria de eventualmente se molhar e se sujar. Para uma situação como essa, seria muito rápido, cômodo e prático se dispusesse de um veículo que tivesse as características de cada um dos veículos citados acima, isto é um veículo anfíbio.

Um veículo, com tais características, seria bastante útil em locais onde o tipo de geografia citado anteriormente fosse predominante, como o pantanal matogrossense, a bacia amazônica, a região dos lagos no sul, represas, rios navegáveis, ao longo de toda a extensa costa litorânea brasileira, regiões onde existem períodos de cheia e localizações urbanas e rurais com problemas de enchente. Nestas localizações de difícil acesso com apenas um tipo de transporte, o veículo anfíbio seria bastante útil para salvamento de pessoas e animais, patrulhamento ambiental, transporte de pessoas e cargas com praticidade, entre outras aplicações.

Como se vê, o campo de utilização deste tipo de veículo é bastante amplo, isso sem levar em consideração a sua aplicação no lazer e esporte. Além desses fatores, pode ser bem explorado em termos de propaganda, devido ao impacto de um veículo inovador.

Considerando o mercado consumidor em potencial, estima-se um mercado de 1000 veículos por ano, com preço de venda da ordem de 10.000 reais por unidade.

2) FORMULAÇÕES DO PROJETO

2.1) ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

2.1.1 - ESPECIFICAÇÕES FUNCIONAIS

- DESEMPENHO

Velocidade :

- Velocidade máxima em plano horizontal : 80 Km/h.
- Velocidade média de cruzeiro : 50 Km/h.

Aceleração :

- Aceleração média em plano horizontal : de 0 a 50 km/h em 20s.

Desaceleração :

- À velocidade máxima de 70 Km/h o veículo deverá percorrer no máximo de 100 m até a "imobilidade" total.

Estabilidade do veículo :

- O veículo deverá ser estável e versátil principalmente em terrenos menos planos ou em águas agitadas e na transição água-terra ou vice-versa.

Manobrabilidade :

- Rapidez na resposta aos comandos.

Inclinação :

- O veículo deverá ser capaz de trafegar em terrenos com aclive de 30% (17 graus) no máximo.

- **ERGONOMIA**

Dirigibilidade :

- Facilidade de manobrar o veículo.
- As alavancas de acionamento deverão ter :
 - a) curso máximo de 200 mm;
 - b) esforço máximo de 10 N.

- **CAPACIDADE**

Passageiros & Bagagem :

- Número de passageiros deverá ser limitado a dois (2), ou atingir a um peso de 200 kg no máximo incluindo a bagagem.

- **CONFORTO**

Ruídos Internos :

- Valor de no máximo 80dB para o usuário.

Vibrações :

- Os sistemas de propulsão e sustentação deverão estar afixados à estrutura de modo a transmitir o mínimo de vibração de forma a não danificar outros componentes, bem como não comprometer o conforto do usuário.

• SEGURANÇA

Estabilidade do veículo :

- O veículo deverá ser estável, principalmente em terrenos menos planos ou em águas agitadas e na transição água-terra ou vice-versa, de modo a não provocar acidentes por problemas técnicos e a causar danos ao usuário e ao veículo.

Flutuabilidade :

- O veículo deverá permanecer flutuando na água, mesmo parado.

• PROTEÇÃO AMBIENTAL

Emissão de poluentes :

- Por ser um motor de combustão interna, deverá emitir a quantidade de gases de acordo

- RESOLUÇÃO CONAMA No 003 DE 28/06/90

- RESOLUÇÃO CONAMA No 008 DE 06/12/90

Ruídos Externos :

- Deverá atingir no máximo 90 dB à plena carga, atendendo às

- RESOLUÇÃO CONAMA No 001 DE 08/03/90

- RESOLUÇÃO CONAMA No 002 DE 08/03/90

2.1.2 - ESPECIFICAÇÕES OPERACIONAIS

• DURABILIDADE

Vida útil do veículo :

- Deverá atingir 10 anos de uso ou 15.000 horas de operação.

Vida útil dos componentes mais críticos :

- A vida útil média das peças ou dos sistemas mais críticos deverão ser da ordem de 3 anos de uso ou 5.000 horas de operação.

• MANUTENÇÃO

Manutenção Preventiva :

- Período entre revisões/ reparos :
 - a) 1 anos de uso (1.500 h) para componentes mais críticos;
 - b) 2 anos de uso (3.000 h) para os outros componentes;
 - c) a cada bimestre deverá ser realizado a regulagem do motor;
 - d) o óleo do motor deverá ser trocado a cada 500 h de uso.
 - e) a cada semestre deverá ser realizado revisão de todos os sistemas existentes : pneumático , hidráulico , elétrico e mecânico.

- CONFIABILIDADE

Garantia :

- Não deverá apresentar falhas que impliquem em reparos fora do sistema de manutenção preventiva.

- CONSUMO

Combustível :

- Gasolina : 8,0 l/h em condições de velocidade constante (~ 65 km/h) num terreno plano horizontal (com aclive de 5% no máximo).
- Álcool : 10,0 l/h em condições de velocidade constante (~ 65 km/h) num terreno plano horizontal (com aclive de 5% no máximo).

2.1.3 - ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS

- PESO

Peso do Veículo :

- Peso máximo do veículo deverá ser de aproximadamente 250 Kg.

Peso Variável :

- O peso da carga (passageiro e bagagem) e do combustível não deverão ultrapassar 250 Kg.

- **DIMENSÃO**

Dimensões Principais Máximas :

- comprimento : 5,0 m;
- largura : 2,5 m;
- altura : 1,7 m.

- **ARRANJO E DISPOSIÇÃO**

Manutenção :

- Deverá ser de fácil acesso para manutenção.

3) SÍNTESE DAS SOLUÇÕES

| | Sub sistema | MOTO - PROPULSOR | | MOTO - ELEVADOR | | CONTROLAR |
|--|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|
| | Função | Mover na água | Mover na terra | Sustentar na água | Sustentar na terra | Controlar direção do veículo |
| A L T E R N A T I V A S | a) | O hélice (naval) | A hélice (aeronáutica) | Levitação Magnética | Levitação Magnética | Trilhos |
| | b) | A hélice (aeronáutica) | Turbojato | Jato de Ar | Jato de Ar | Leme |
| | c) | Turbojato | Turbofan | Empuxo Hidrostático | Empuxo Aerodinâmico | Rodas Direcional |
| | d) | Turbofan | Turboprop | Empuxo Aerostático | Empuxo Aerostático | Rodas Diferencial |
| | e) | Turboprop | Ramjet (Jato Puro) | Empuxo Hidrodinâmico | Rodas Comuns | Hélice Direcional |
| | f) | Ramjet (Jato Puro) | Pulsojato | Empuxo Aerodinâmico | Roda de pás | Hélice Diferencial |
| | g) | Pulsojato | Tração nas Rodas Comuns | Rodas Baloon | Rodas Baloon | |
| | h) | Esteira | Tração nas Rodas Baloon | Bóia | | |
| | i) | Roda de pás | Tração nas Rodas de pás | | | |
| | j) | Vela | Esteira | | | |
| A S | k) | Jato d'água | Jato de Ar | | | |
| | l) | Jato de Ar | | | | |

Termos usados na Matriz de Soluções :

- **O Hélice** - hélice utilizado nas embarcações navais e responsável pela propulsão das mesmas.
- **A Hélice** - hélice utilizado em aeronaves e responsável pela propulsão das mesmas.
- **Turbojato, Turbofan, Turboprop, Ramjet, Pulsojato** - máquinas de fluxo de propulsão por reação com admissão de ar.
- **Roda de Pás** - pás presas radialmente a uma roda.
- **Rodas Baloon** - pneus de grandes dimensões (diâmetro ~ 1.60m), de material maleável, cheios de ar, resistentes ao desgaste.
- **Empuxo Hidrostático** - força resultante devido à diferença de densidade entre um material e a água.
- **Empuxo Hidrodinâmico** - força de sustentação devido ao escoamento do fluido (água) ao longo de um corpo (com perfis especiais) .
- **Empuxo Aerostático** - empuxo devido à diferença de densidade entre o material e o ar.
- **Empuxo Aerodinâmico** - empuxo devido ao movimento de um corpo no ar que provoca uma força de sustentação.
- **Controle Rodas Direcional** - controle de direção do veículo pelo direcionamento das rodas.
- **Controle Rodas Diferencial** - controle de direção do veículo pelo travamento de uma ou duas rodas de um dos lados.
- **Controle Hélice Direcional** - controle de direção do veículo pelo direcionamento das hélices.
- **Controle Hélice Diferencial** - controle de direção do veículo pelo travamento de uma das hélices.

A matriz acima apresenta diversas soluções para algumas funções do veículo, importantes para o objetivo do nosso estudo. As soluções de veículos são obtidas pela combinação de subsistemas (função). Dessa forma, verifica-se que poderíamos encontrar inúmeras soluções de veículos.

Com o objetivo de encontrar as melhores soluções, é importante a simplificação da matriz, eliminando-se as soluções de baixa eficiência, com problemas tecnológicos, de elevado custo, entre outros. Como exemplo de elementos eliminados devido a esses critérios, podem ser citados, respectivamente, as rodas de pás e remos, levitação magnética e esteira na água, e jatos (turbojato, turbofan, turboprop, ramjet, pulsojato). Os trilhos foram eliminados devido ao elevado custo e restrição de utilização que apresentaria um veículo que necessitasse desse meio de controle para se locomover.

Os veículos aéreos também serão eliminados, devido a várias características:

- necessidade de treinamento e conhecimento profundo do funcionamento do veículo pelo usuário;
- elevado custo operacional (consumo, manutenção, entre outros);
- utilização restrita :
 - sob condições climáticas desfavoráveis (chuvas, ventos, neblina);
 - em locais de difícil acesso, cujo *teto operacional* possui menos que 10m (pontes, cavernas, túneis, fiações elétricas);
 - em locais cujo espaço de pouso seja insuficiente;
- capacidade limitada de carga;
- necessidade de uma garagem maior em relação aos veículos convencionais terrestres.

Devido às considerações anteriores e agrupando-se os itens da matriz com mesmo efeito de resposta, tem-se uma nova matriz de soluções, apresentada a seguir:

| Sub sistema | MOTO - PROPULSOR | | MOTO - ELEVADOR | | CONTROLAR |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Função | Mover na água (I) | Mover na terra (II) | Sustentar na água (III) | Sustentar na terra (IV) | Controlar direção do veículo (V) |
| α) | O hélice (naval) | A hélice (aeronáutica) | Jato de Ar | Jato de Ar | Leme |
| β) | A hélice (aeronáutica) | Tração nas Rodas | Empuxo Hidrostático | Rodas em geral | Rodas Direcional |
| χ) | Jato d'água | Esteira | Empuxo Hidrodinâmico e Hidrostático | Esteira | Rodas Diferencial |
| δ) | | | Rodas Ballon e Bóias | | Hélice Direcional |
| ϵ) | | | | | Hélice Diferencial |

A partir da matriz simplificada, as soluções possíveis ainda são de número elevado. Dessa forma, foram eliminadas as soluções cujas combinações apresentavam-se incoerentes. Ainda para o critério de simplificação, desprezamos a *função controlar*, uma vez que está diretamente relacionada às funções de mover e sustentar. Considerando apenas as melhores soluções, foram obtidas sete soluções cujas combinações a partir da matriz são apresentadas a seguir :

| | | F U N Ç Ã O | | | |
|---------------------------------|----|-------------|----------|----------|----------|
| | | I | II | III | IV |
| V E Í C U L O | S1 | β | α | α | α |
| | S2 | α | β | β | β |
| | S3 | α | β | δ | β |
| | S4 | χ | χ | β | χ |
| | S5 | β | α | β | β |
| | S6 | β | α | χ | β |
| | S7 | α | β | α | α |

SOLUÇÃO 1

O veículo S1 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|---------------|
| Moto-Propulsor | água | A hélice |
| | terra | A hélice |
| Moto-Elevador | água | A hélice |
| | terra | A hélice |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice |
| | terra | Leme / Hélice |

O veículo da solução 1, teria o aspecto físico (construtivo) como pode ser observado na fig. S1.

No fundo do veículo haveria uma câmara que seria enchido com ar pressurizado por um conjunto motor-hélice disposto na vertical. O ar pressurizado na câmara escaparia pelas bordas do casco, formando assim um tipo de "colchão" de ar, que dessa forma sustentaria o veículo e ao mesmo tempo permitiria que o veículo deslizasse sobre qualquer superfície mais

ou menos plana sem haver o contato com o mesmo, diminuindo assim a força de resistência devido ao atrito com a superfície.

Para fazer o veículo se locomover numa certa direção, seria utilizado um conjunto propulsor motor-hélice aeronáutico, como dos pequenos aviões monomotores, capaz de mover o veículo tanto na água como na terra.

O controle direcional seria feito através de um leme vertical posicionado atrás das hélices propulsoras, semelhante também às aeronaves.

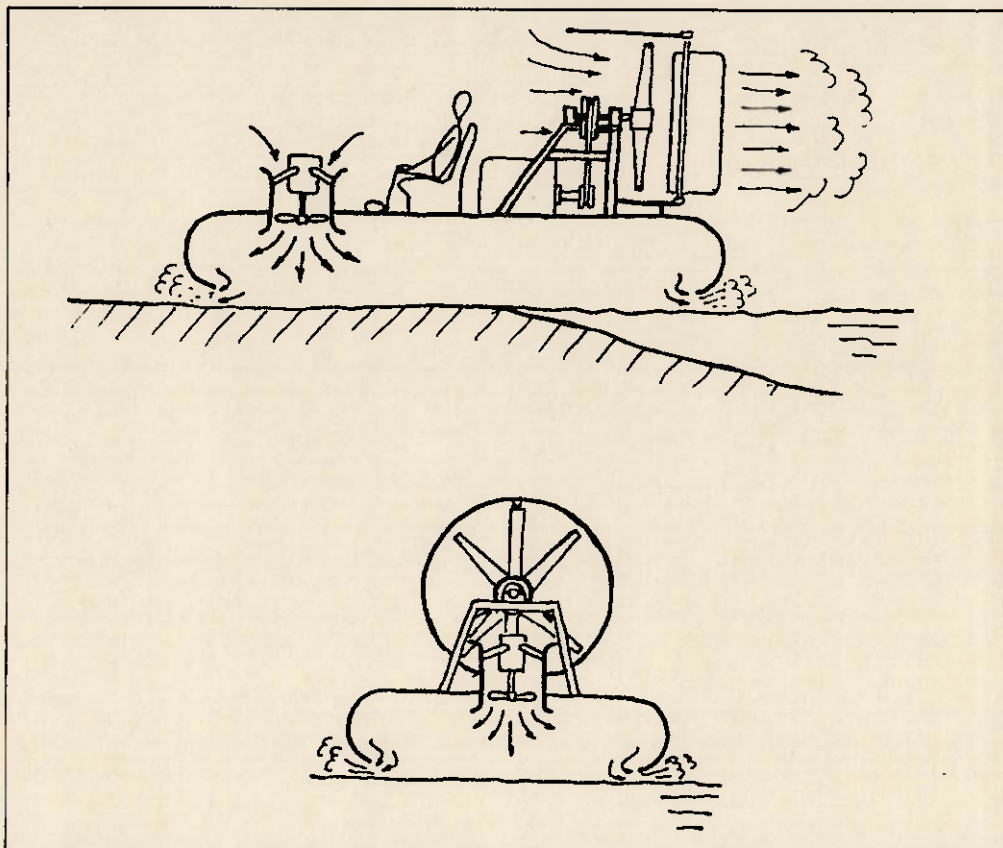


figura S1

SOLUÇÃO 2

O veículo S2 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|------------------|
| Moto-Propulsor | água | O hélice |
| | terra | Tração nas Rodas |
| Moto-Elevador | água | Casco |
| | terra | Rodas |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice |
| | terra | Rodas |

O veículo S2 (fig.S2) mover-se-ia na água através do hélice (naval) e na terra pela tração nas rodas.

Seu funcionamento na terra seria similar aos automóveis, com motor de combustão interna, transmissão, direção nas rodas, sistema de suspensão, entre outros.

Na água, o veículo seria semelhante a uma lancha , sustentado pelo empuxo no casco e com controle direcional realizado através de leme.

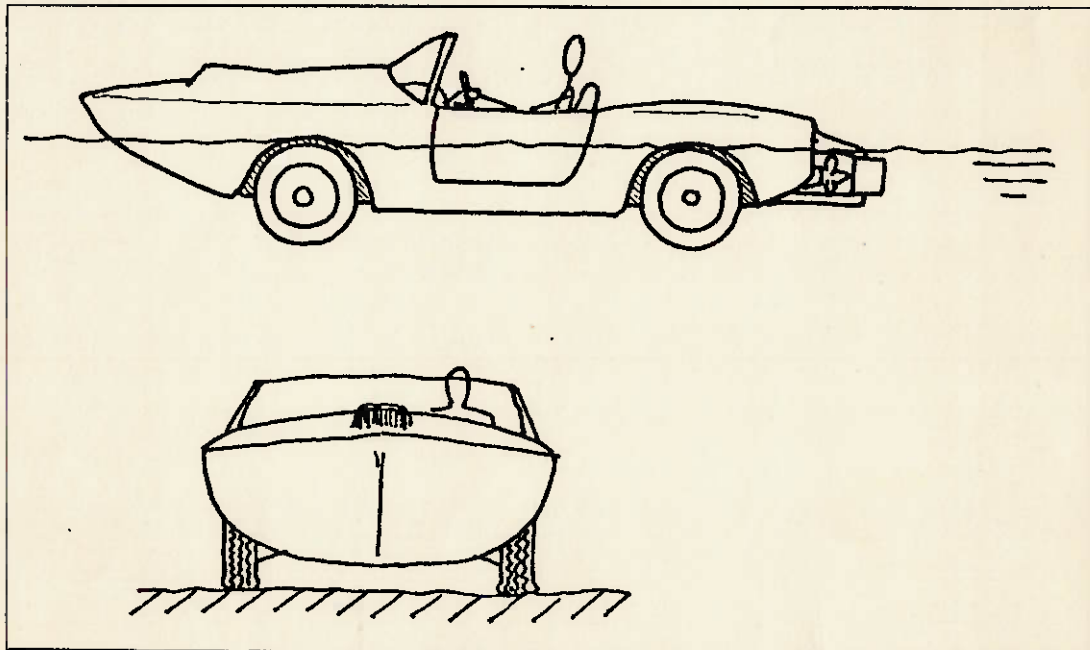


figura S2

SOLUÇÃO 3

O veículo S3 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|-------------------------|
| Moto-Propulsor | água | O hélice |
| | terra | Tração nas Rodas Baloon |
| Moto-Elevador | água | Rodas Baloon |
| | terra | Rodas Baloon |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice |
| | terra | Rodas Baloon |

O veículo S3 (fig. S3) apresentaria características bastante semelhantes ao veículo S2, sendo que a principal diferença estaria na sustentação na água, que neste caso seria feita pelos pneus. Estes apresentariam volume cerca de cinco vezes maior que os pneus do veículo S2. Devido a essa característica, o próprio pneu exerceria a função de uma suspensão, eliminando o sistema mola-amortecedor do veículo S2.

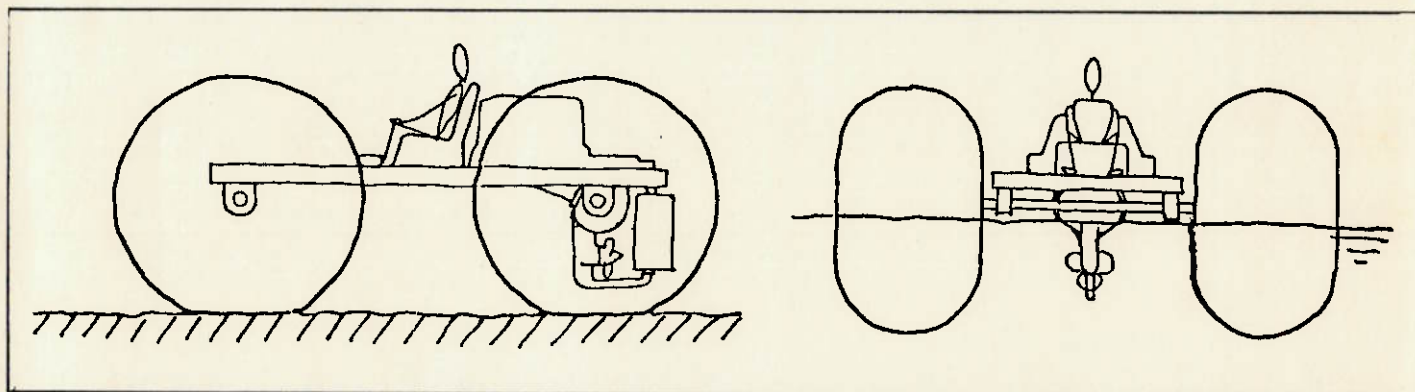


figura S3

SOLUÇÃO 4

O veículo S4 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|-------------|
| Moto-Propulsor | água | Jato d'água |
| | terra | Esteira |
| Moto-Elevador | água | Bóia |
| | terra | Esteira |
| Controle de Direção | água | Leme |
| | terra | Esteira |

A sustentação e a propulsão deste veículo na terra seria feita através de esteiras deslizantes, como nas motonetas que andam na neve, mas as placas que formam as esteiras deveriam apresentar maior resistência para que pudessem suportar superfícies bem mais duras.

A propulsão na água seria semelhante ao que são utilizados em jet skys, ou seja, através do jato d'água que seria formado pelo bombeamento por meio de hélice colocado dentro de um duto. Por ser um veículo de dimensões maiores que um jet sky, este sistema propulsor teria que ser mais potente.

A sustentação na água seria garantida pelo empuxo do próprio casco do veículo e auxiliado por uma bóia, que circunda o veículo, inflado previamente à entrada na água. O enchimento seria feito através de um mini compressor acoplado ao motor e também de um reservatório, para permitir rápido enchimento. Em caso de pane, o enchimento deveria ser feito através de um cilindro de emergência, com CO₂ comprimido, suficiente para apenas um enchimento completo.

O controle direcional na terra seria feito do mesmo modo que os carros-tanque, nos quais travar-se-ia o movimento da esteira do lado para o qual se deseja ir, enquanto que a outra esteira movimentar-se-ia fazendo com que o veículo girasse na direção desejada.

Na água o controle direcional seria feito através do direcionamento do jato d'água por meio de um bocal móvel na saída do jato, semelhante ao jet sky.

Para movimentar tanto a esteira como o hélice seria utilizado apenas um motor, igual ao de automóvel de porte médio, e um sistema de transmissão de velocidades e um sistema de mudança de acionamento entre a esteira e o hélice.

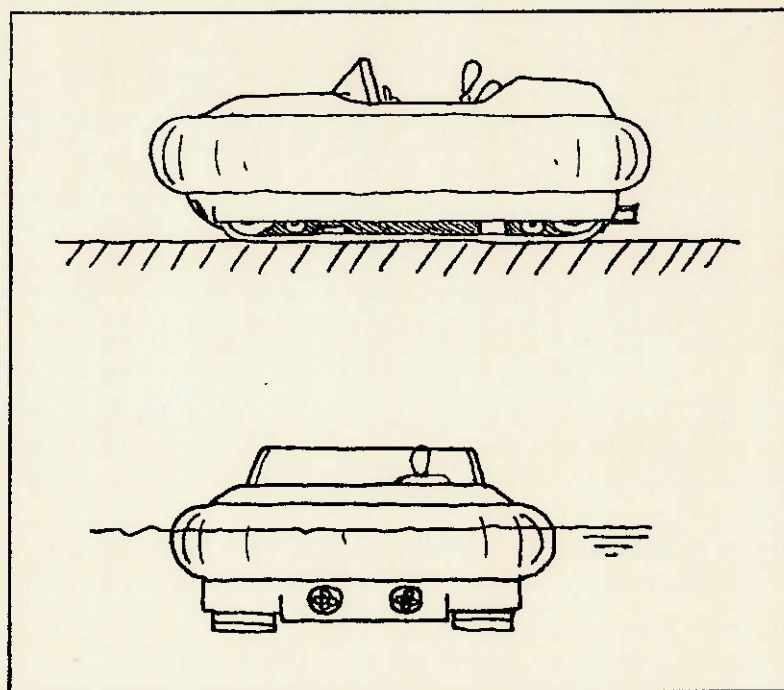


figura S4

SOLUÇÃO 5

O veículo S5 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|-----------------------|
| Moto-Propulsor | água | A hélice |
| | terra | A hélice |
| Moto-Elevador | água | Casco |
| | terra | Rodas |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice |
| | terra | Rodas / Leme / Hélice |

Este veículo seria, construtivamente, o mais simples dentre as soluções.

Consistiria de um casco largo de fundo chato para flutuar e deslizar na água, de dois pares de rodas-livres para sustentar no solo, sendo que as rodas e os eixos deveriam ser carenados para reduzir o arrasto na água, um conjunto moto propulsor à hélice como na solução 1, para que pudesse efetuar seu movimento em ambas as superfícies, e os comandos direcionais que também seriam semelhantes à da solução 1.

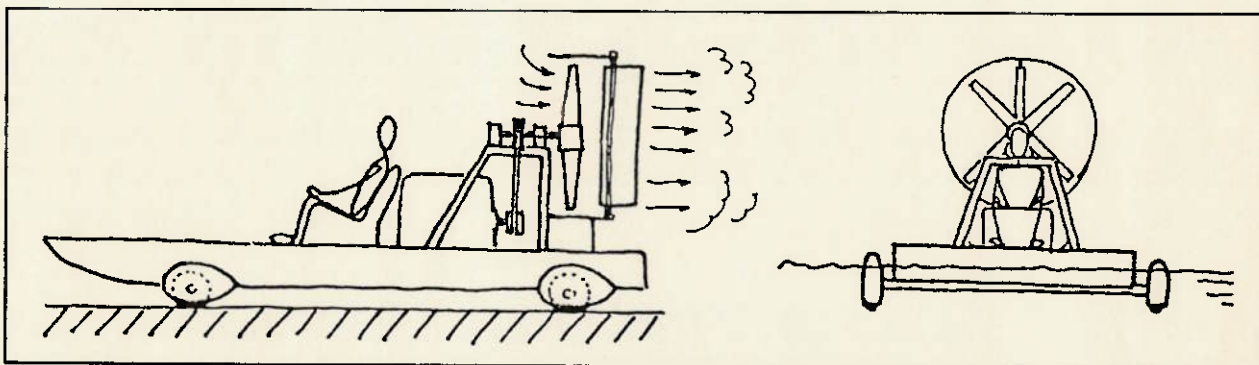


figura S5

SOLUÇÃO 6

O veículo S6 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|-----------------------|
| Moto-Propulsor | água | A hélice |
| | terra | A hélice |
| Moto-Elevador | água | Casco / Hidrofólio |
| | terra | Rodas |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice |
| | terra | Rodas / Leme / Hélice |

Seria semelhante à solução anterior, mas no qual o fundo do casco não seria chato nem largo, pois a sustentação na água para velocidades elevadas seria feita por dois hidrofólios escamoteáveis, um na frente e outro atrás, fazendo com que o casco e as rodas perdessem o contato com a água, reduzindo sensivelmente o arrasto hidrodinâmico, possibilitando melhor desempenho na água.

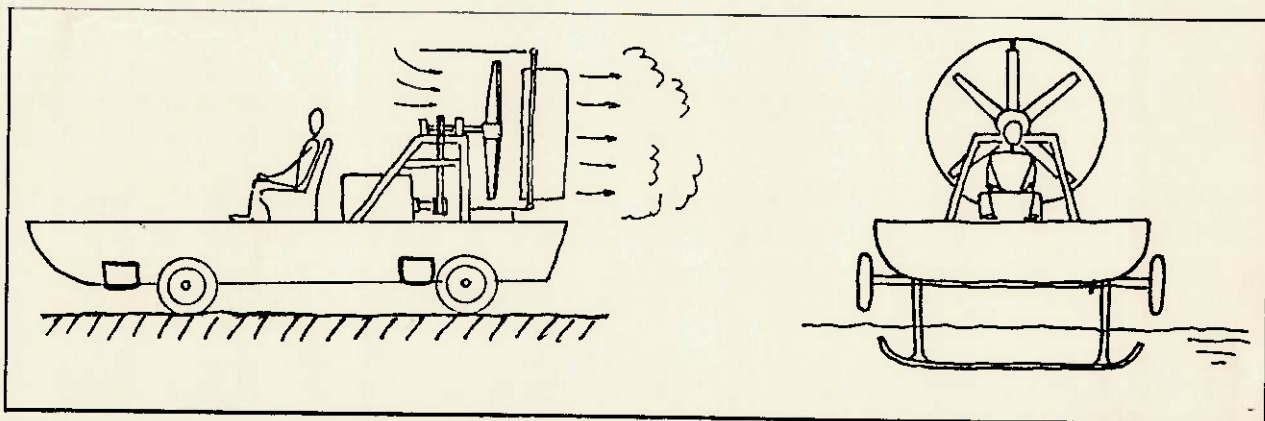


figura S6

SOLUÇÃO 7

O veículo S7 tem como subsistemas :

| | | |
|----------------------------|--------------|----------|
| Moto-Propulsor | água | O hélice |
| | terra | Rodas |
| Moto-Elevador | água | A hélice |
| | terra | A hélice |
| Controle de Direção | água | Hélice |
| | terra | Rodas |

A sustentação desse veículo seria semelhante ao da solução 1.

Para fazer o veículo locomover-se, ter-se-ia um conjunto propulsor misto desempenhado por um mesmo dispositivo, a roda-hélice. A idéia seria que na terra o veículo seria tracionado por duas rodas laterais traseiras e essa mesma roda teria seus raios internos com formato de hélice naval. Os eixos das rodas-hélice deveriam permitir um movimento angular de 90°, de modo a posicionar as rodas perpendicularmente no caso de tracionar na terra e posicionar paralelamente no caso de propulsão na água.

O controle direcional seria feito pela diferença de rotação das rodas-hélices tanto para a água como terra.

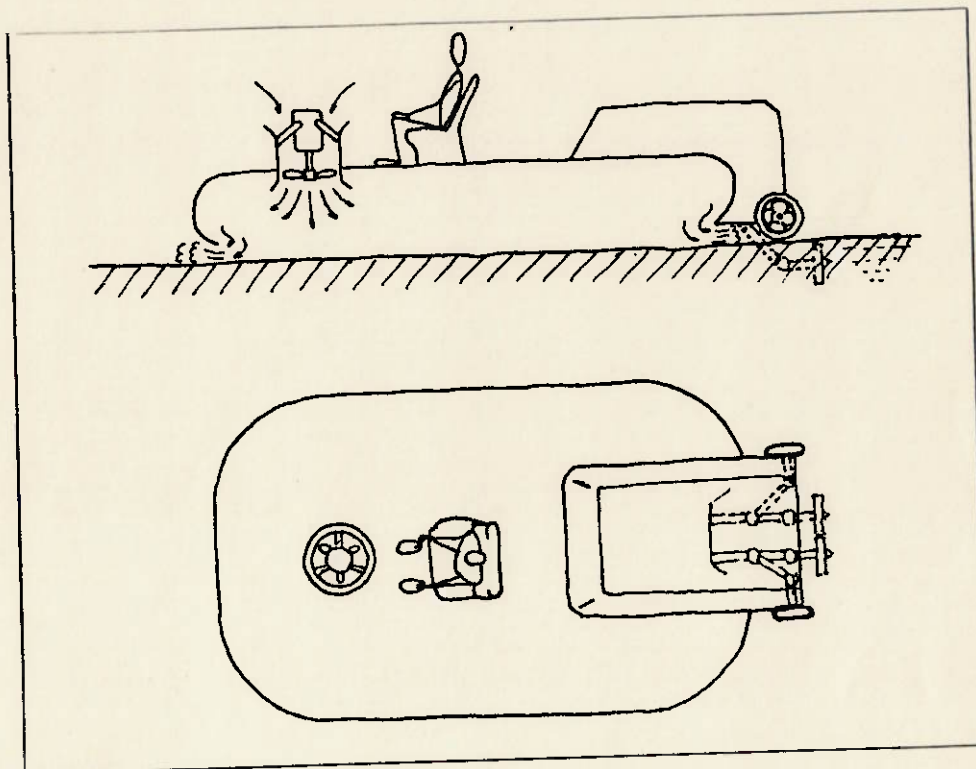


figura S7

4) EXEQUIBILIDADE FÍSICA

SOLUÇÃO 1

O conjunto moto-propulsor-sustentador requeriria um ou dois motores com potência total de aproximadamente 50 cv, dentro da faixa de potência comumente utilizada em automóveis e motos.

O sistema propulsor consistiria em motor, transmissão por correia ou corrente, mancais de rolamento e hélice. Esse conjunto seria fixado à estrutura do veículo por meio de um suporte feito de tubos de duralumínio.

Os dutos que circundam as hélices e o leme vertical de direção poderiam ser feitos de fibra de vidro ou outro material que seja leve e resistente.

A maioria dos componentes poderiam ser comprados pronto no mercado, como as hélices que poderiam ser as mesmas utilizadas nos ventiladores industriais, o que minimizaria o tempo de projeto e custo de fabricação.

O casco do veículo deve garantir a sustentação do mesmo na água, mesmo com o sistema de colchão de ar desligados, em caso de uma pane no motor. Poderia ser feito de fibra de vidro com reforços de madeira.

Para a segurança dos ocupantes e pessoas que estiverem na proximidade do veículo, as entradas de ar que vão para as hélices devem estar protegidas por telas de arame.

SOLUÇÕES 2

Os materiais necessários para este veículo podem ser encontrados facilmente no mercado, tais como fibra de vidro, madeira, chapas para carenagem e casco. Quanto à estrutura, há uma grande disponibilidade de materiais que podem ser utilizados. Os motores podem ser os mesmos utilizados nos veículos automotores e os hélices dos veículos navais, como lanchas.

O compartimento do motor deve ser isolado do meio e bem vedado para ajudar tanto na sustentação do veículo, como também impedir que a água possa afetar o sistema elétrico ou que ela seja aspirado pelo motor.

O sistema de mudança entre a tração nas rodas ou nos hélices não apresentaria dificuldades de projeto ou de construção.

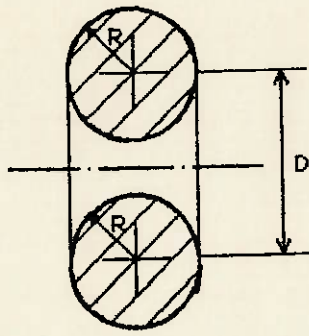
O casco do veículo poderia ser uma adaptação do chassi de um automóvel de passeio de forma a garantir a sustentação do veículo.

SOLUÇÃO 3

Os materiais necessários para este veículo são os mesmos descritos para o veículo S2.

Foram feitos os cálculos aproximados do diâmetro necessário da roda balloon para que permita que o veículo flutue.

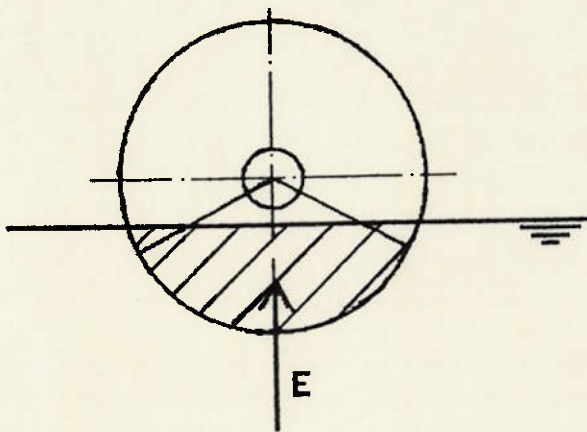
Supondo que o pneu tenha os seguintes formato e dimensões:



A fórmula do volume para um anel circular é dado por:

$$V = \pi^2 D r^2$$

Fazendo $D = 3r$, tem-se que $V = 3\pi^2 r^3$.



Supondo que $1/3$ do volume do pneu ficará submersa, temos pelo Princípio de Arquimedes:

$$E = \text{Empuxo} = \gamma \frac{1}{3} V = \gamma \frac{1}{3} 3\pi^2 r^3 = \gamma \pi^2 r^3$$

onde γ = peso específico da água = $\rho \cdot g$

ρ = massa específica da água = 1.000 Kg/m³.

A somatória dos empuxos que agem em cada uma das quatro rodas deve ser maior que o peso do veículo em ordem de marcha (veículo + carga).

Assim:

$$4E \geq P \Rightarrow 4 \cdot \rho \cdot g \pi^2 \cdot r^3 \geq M \cdot g$$

$$r \geq \sqrt[3]{\frac{M}{4 \cdot \rho \cdot \pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{500}{4 \cdot 10^3 \cdot \pi^2}} = 0,2331$$

tomando $r = 0,25$ m , a altura da roda seria de 1,25m , o que seria um valor razoável para o veículo.

Verifica-se, então, que o veículo S3 é exequível fisicamente, pois atende aos princípios de funcionamento de outros veículos já existentes.

SOLUÇÃO 4

Por ser um veículo com muitos componentes, como o sistema de transmissão das esteiras e do rotor dos hélices, o seu peso seria elevado e o espaço disponível para os ocupantes e a carga apresenta-se um pouco reduzido.

Para reduzir o peso do veículo poderia se estudar a utilização de esteiras de borracha, iguais às correias dentadas, que teria de ser mais reforçado e resistente ao desgaste.

A estrutura seria tubular de aço com pintura anti-oxidante e soldadas, de forma a conferir rigidez ao conjunto. O casco seria em fibra de vidro. O compartimento deve ser isolado por paredes isolantes térmica e acusticamente, além de não permitirem a infiltração de água.

SOLUÇÃO 5

O conjunto propulsor é idêntico ao da solução 1.

O casco de fundo chato poderia ser feito com chapas de alumínio, zinco ou aço galvanizado, dobrados e rebitados com elementos vedantes nas junções.

As rodas com pneumáticos teriam um diâmetro de no máximo 0,3 m, roletados, carenados e fixos à estrutura por meio de tubo de duralumínio.

SOLUÇÃO 6

A inconveniência em relação à solução 5 é que exige muito mais potência e conseqüentemente maior consumo, para possibilitar a utilização da sustentação hidrodinâmica até atingir a alta velocidade necessária para esse efeito surgir. Além desse, exige um mecanismo retrátil para os hidrofólios para permitir a locomoção no solo.

Os hidrofólios dianteiros e traseiros poderiam ter uma estrutura metálica interna iguais às asas de aviões, revestidas com fibra de vidro e pintada para diminuir rugosidade e aumentar resistência ao desgaste. Eles seriam abaixados e recolhidos por um sistema pneumático.

SOLUÇÃO 7

O sistema de sustentação seria idêntico à da solução 1.

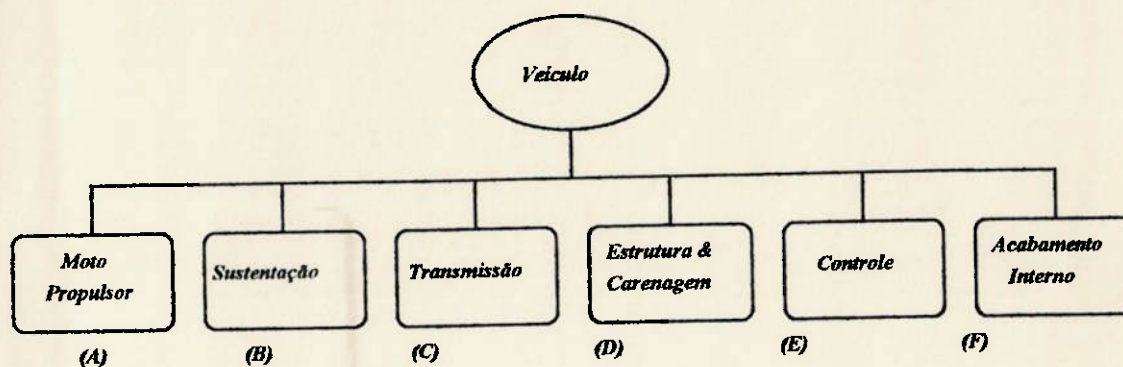
Os hélices-rodas teriam um diâmetro aproximado de 0,4 m e feitos em duralumínio, liga-leve ou material compósito. Haveria 4 raios com forma de hélice naval e um anel envolvendo as extremidades, cobertas por um pneumático.

O sistema de transmissão e mudança de função seria feito por eixos flexíveis ou pares de cardã e mecanismos articulados.

5) VIABILIDADE ECONÔMICA

• VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O FABRICANTE

Para o estudo da viabilidade econômica do veículo em questão, foi feita a divisão em subsistemas, como mostra a figura abaixo:



Considerando cada solução encontrada no item *Síntese de Soluções*, foi tabelado o custo em porcentagem de cada subsistema.

| | | V | E | I | C | U | L | O |
|--------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 |
| Custos em % dos Subsistemas | A | 30 | 25 | 25 | 30 | 40 | 35 | 25 |
| | B | 35 | 25 | 25 | 25 | 20 | 35 | 25 |
| | C | 5 | 15 | 15 | 15 | 5 | 5 | 25 |
| | D | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 15 |
| | E | 5 | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 |
| | F | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

A seguir, estão tabelados os custos dos subsistemas e custo total em *Reais (R\$)* para cada solução.

| | | <i>V</i> | <i>E</i> | <i>I</i> | <i>C</i> | <i>U</i> | <i>L</i> | <i>O</i> |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
| Custos dos Subsistemas em R\$ | <i>A</i> | 1350 | 1375 | 1375 | 1950 | 1400 | 1750 | 1375 |
| | <i>B</i> | 1575 | 1375 | 1375 | 1625 | 700 | 1750 | 1375 |
| | <i>C</i> | 225 | 825 | 825 | 975 | 175 | 250 | 1375 |
| | <i>D</i> | 900 | 1100 | 1100 | 1300 | 700 | 500 | 825 |
| | <i>E</i> | 225 | 550 | 550 | 325 | 350 | 500 | 275 |
| | <i>F</i> | 225 | 275 | 275 | 325 | 175 | 250 | 275 |
| Custo Total | <i>R\$</i> | 4500 | 5500 | 5500 | 6500 | 3500 | 5000 | 5500 |

Considerando custos fixos e variáveis de fabricação:

| | | <i>V</i> | <i>E</i> | <i>I</i> | <i>C</i> | <i>U</i> | <i>L</i> | <i>O</i> |
|------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
| Custos Fixos (30%) | Impostos, Seguros, Taxas de conservação, Supervisão Administrativa e a Potência Elétrica instalada | 1350 | 1650 | 1650 | 1950 | 1050 | 1500 | 1650 |
| Custos Variáveis (10%) | Recursos Humanos, materiais, energia consumida na fabricação | 450 | 550 | 550 | 650 | 350 | 500 | 550 |
| Total | | 1800 | 2200 | 2200 | 2600 | 1400 | 2000 | 2200 |

Com estes valores, pode-se calcular o custo do produto para a empresa (fabricante):

| | <i>V</i> | <i>E</i> | <i>I</i> | <i>C</i> | <i>U</i> | <i>L</i> | <i>O</i> |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
| Total de Materiais | 4500 | 5500 | 5500 | 6500 | 3500 | 5000 | 5500 |
| Custos Fixos e Variáveis | 1800 | 2200 | 2200 | 2600 | 1400 | 2000 | 2200 |
| Custo do Produto | 6300 | 7700 | 7700 | 9100 | 4900 | 7000 | 7700 |

Considerando que a empresa terá um lucro de 25% sobre o custo do produto, temos:

| | <i>V</i> | <i>E</i> | <i>I</i> | <i>C</i> | <i>U</i> | <i>L</i> | <i>O</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
| Custo do Produto | 6300 | 7700 | 7700 | 9100 | 4900 | 7000 | 7700 |
| Lucro da Empresa | 1575 | 1925 | 1925 | 2275 | 1225 | 1750 | 1925 |
| Valor ao Revendedor | 7875 | 9625 | 9625 | 11375 | 6125 | 8750 | 9625 |

Admitindo um lucro médio de 10% para o revendedor ter-se-á :

| | <i>V</i> | <i>E</i> | <i>I</i> | <i>C</i> | <i>U</i> | <i>L</i> | <i>O</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
| <i>Preço ao revendedor</i> | 7875 | 9625 | 9625 | 11375 | 6125 | 8750 | 9625 |
| <i>Lucro ao revendedor</i> | 788 | 963 | 963 | 1138 | 613 | 875 | 963 |
| <i>Valor pago pelo consumidor</i> | 8663 | 10588 | 10588 | 12513 | 6738 | 9625 | 10588 |

• VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USUÁRIO

O valor econômico foi estimado através de uma pesquisa de mercado entre grandes proprietários, população de classe média/alta, instituições governamentais, entre outros, que são o público alvo para o produto em questão.

A partir de uma amostragem de 100 entrevistados foram obtidos seguintes resultados:

1) *Você compraria o veículo ?*

Resultado : SIM NÃO

70% 30%

2) *Na sua opinião, quanto custaria este veículo ?*

Os resultados obedecem à uma curva de distribuição normal onde :

Média = 10.000

Desvio Padrão = 3.000

As informações obtidas confirmam o potencial de mercado do nosso produto. O preço médio fornece uma estimativa do valor atribuído, que é de R\$10.000 .

6) VIABILIDADE FINANCEIRA

Os investimentos iniciais para a fabricação do veículo poderiam ser considerados para duas situações diferentes. A primeira é a qual a indústria já tenha, se não todo, mas boa parte do meio produtivo capaz de produzir o veículo. O segundo caso é o da implantação de uma indústria para iniciar a produção.

Neste projeto, o fabricante é uma empresa já estabelecida no ramo industrial e comercial, que fabrica outro tipo de veículo, sendo que a maior parte da maquinaria existente é suficiente, com pequenos ajustes e a mão-de-obra é especializada no tipo de serviço a ser realizado, podendo-se fazer a produção de parte dos equipamentos necessários ao veículo.

Componentes específicos como motor, pistão, hélice, etc., dependendo do veículo, poderiam ser adquiridos de fornecedores externos especializados em suas áreas, pois para a produção interna desses equipamentos, seriam necessários investimentos de elevado valor, tornando o projeto inviável.

Tendo em vista que não há necessidade de investimentos em meios de produção citados acima e devido a grande disponibilidade de recursos de que dispõem as empresas, os investimentos requeridos para as soluções apresentadas são pequenas, tornando-os viáveis financeiramente.

Os investimentos requeridos podem vir de recursos da própria empresa ou de empréstimo de instituições financeiras.

***PARTE II -
PROJETO BÁSICO***

1) ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

Do estudo de viabilidade resultaram sete soluções viáveis. Nesta fase será feita a escolha da melhor solução.

Para efetuar a escolha, os projetos foram analisados com base em propriedades que foram consideradas importantes e suficientes para a determinação da melhor solução.

- **Desempenho:** capacidade de atender às especificações de aceleração, velocidade, desaceleração, manobrabilidade e estabilidade do veículo no plano e em aclives.
- **Conforto:** deverá atender às especificações quanto aos ruídos internos e vibrações do veículo. Além disso, deverá permitir uma boa dirigibilidade quanto ao critério de ergonomia. Entende-se como dirigibilidade a facilidade de alcance e manuseio dos comandos.
- **Segurança:** capacidade de atender às especificações de estabilidade do veículo (transição terra-água ou vice-versa) e fluvariabilidade.

- **Proteção Ambiental:** deverá atender às normas quanto a emissão de poluentes e ruídos externos de acordo com as resoluções CONAMA.
- **Durabilidade:** deverá atender às especificações quanto à vida útil do veículo e seus principais componentes.
- **Manutenção:** característica que leva em conta a quantidade de peças sujeitas à manutenção, bem como a facilidade com que a qual essa manutenção pode ser executada.
- **Confiabilidade:** deverá atender às especificações quanto à garantia proposta.
- **Autonomia:** deverá atender às especificações quanto ao consumo de combustível.
- **Versatilidade:** facilidade e rapidez na transição terra-água e vice-versa.
- **Manobrabilidade:** deverá apresentar rapidez na resposta aos comandos.
- **Compacticidade:** deverá ser o mais compacto possível, a fim de que o veículo seja o mais leve possível e fácil de ser transportado.
- **Manufaturabilidade:** facilidade no processo de fabricação e montagem e simplicidade de maquinários utilizados na manufatura.
- **Estética:** deverá atrair os consumidores pela sua aparência.

- **Custo Operacional:** deverá atender às especificações quanto a durabilidade, manutenção, confiabilidade e consumo.
- **Custo de Fabricação:** deverá atender às especificações previstas na viabilidade econômica.
- **Conjunto:** harmonia entre as partes funcional, operacional, construtiva e estética.

De posse dessas propriedades, foram atribuídos pesos de 1(um) a 5(cinco) a cada qualidade. Estabeleceu-se 1 (um) à qualidade de menor importância, sendo este tomado como padrão para a avaliação dos pesos das demais propriedades.

O peso atribuído à propriedade foi escolhida através da média dos pesos dados à propriedade por cada elemento do grupo.

Segundo o mesmo critério foram atribuídas notas de zero (0) a cinco (5) às soluções para cada uma das propriedades consideradas.

Antes da matriz de soluções, serão descritos novamente as sete soluções viáveis.

Descrição sucinta das sete soluções :

| | | <i>S1</i> | <i>S2</i> | <i>S3</i> | <i>S4</i> | <i>S5</i> | <i>S6</i> | <i>S7</i> |
|---------------------|-------|---------------|------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Moto-Propulsor | água | A hélice | O hélice | O hélice | Jato d'água | A hélice | A hélice | O hélice |
| | terra | A hélice | Tração nas Rodas | Tração nas Rodas Baloon | Esteira | A hélice | A hélice | Rodas |
| Moto-Elevador | água | A hélice | Casco | Rodas Baloon | Bóia | Casco | Casco / Hidrofólio | A hélice |
| | terra | A hélice | Rodas | Rodas Baloon | Esteira | Rodas | Rodas | A hélice |
| Controle de Direção | água | Leme / Hélice | Leme / Hélice | Leme / Hélice | Leme | Leme / Hélice | Leme / Hélice | Hélice |
| | terra | Leme / Hélice | Rodas | Rodas Baloon | Esteira | Rodas / Leme / Hélice | Rodas / Leme / Hélice | Rodas |

SOLUÇÃO 1 (S1)

No fundo do veículo haveria uma câmara que seria enchido com ar pressurizado por um conjunto motor-hélice disposto na vertical. O ar pressurizado na câmara escaparia pelas bordas do casco, formando assim um tipo de "colchão" de ar, que dessa forma sustentaria o veículo e ao mesmo tempo permitiria que o veículo deslizesse sobre qualquer superfície mais ou menos plana sem haver o contato com o mesmo, diminuindo assim a força de resistência devido ao atrito com a superfície.

Para fazer o veículo se locomover numa certa direção, seria utilizado um conjunto propulsor motor-hélice aeronáutico, como dos pequenos aviões monomotores, capaz de mover o veículo tanto na água como na terra.

O controle direcional seria feito através de um leme vertical posicionado atrás das hélices propulsoras, semelhante também às aeronaves.

SOLUÇÃO 2 (S2)

Seu funcionamento na terra seria similar aos automóveis, com motor de combustão interna, transmissão, direção nas rodas, sistema de suspensão, entre outros.

Na água, o veículo seria semelhante a uma lancha, sustentado pelo empuxo no casco e com controle direcional realizado através de leme.

SOLUÇÃO 3 (S3)

O veículo S3 apresentaria características bastante semelhantes ao veículo S2, sendo que a principal diferença estaria na sustentação na água, que neste caso seria feita pelos pneus. Estes apresentariam volume cerca de cinco vezes maior que os pneus do veículo S2. Devido a essa característica, o próprio pneu exerceria a função de uma suspensão, eliminando o sistema mola-amortecedor do veículo S2.

SOLUÇÃO 4 (S4)

A sustentação e a propulsão deste veículo na terra seria feita através de esteiras deslizantes, como nas motonetas que andam na neve, mas as placas que formam as esteiras deveriam apresentar maior resistência para que pudessem suportar superfícies bem mais duras.

A propulsão na água seria semelhante ao que são utilizados em jet skys, ou seja, através do jato d'água que seria formado pelo bombeamento por meio de hélice colocado dentro de um duto. Por ser um veículo de dimensões maiores que um jet sky, este sistema propulsor teria que ser mais potente.

A sustentação na água seria garantida pelo empuxo do próprio casco do veículo e auxiliado por uma bóia, que circunda o veículo, inflado previamente à entrada na água. O

enchimento seria feito através de um mini compressor acoplado ao motor e também de um reservatório, para permitir rápido enchimento. Em caso de pane, o enchimento deveria ser feito através de um cilindro de emergência, com CO₂ comprimido, suficiente para apenas um enchimento completo.

O controle direcional na terra seria feito do mesmo modo que os carros-tanque, nos quais travar-se-ia o movimento da esteira do lado para o qual se deseja ir, enquanto que a outra esteira movimentar-se-ia fazendo com que o veículo girasse na direção desejada.

Na água o controle direcional seria feito através do direcionamento do jato d'água por meio de um bocal móvel na saída do jato, semelhante ao jet sky.

Para movimentar tanto a esteira como o hélice seria utilizado apenas um motor, igual ao de automóvel de porte médio, e um sistema de transmissão de velocidades e um sistema de mudança de acionamento entre a esteira e o hélice.

SOLUÇÃO 5 (S5)

Este veículo seria, construtivamente, o mais simples dentre as soluções.

Consistiria de um casco largo de fundo chato para flutuar e deslizar na água, de dois pares de rodas-livres para sustentar no solo, sendo que as rodas e os eixos deveriam ser carenados para reduzir o arrasto na água, um conjunto moto propulsor à hélice como na solução 1, para que pudesse efetuar seu movimento em ambas as superfícies, e os comandos direcionais que também seriam semelhantes à da solução 1.

SOLUÇÃO 6 (S6)

Seria semelhante à solução anterior, mas no qual o fundo do casco não seria chato nem largo, pois a sustentação na água para velocidades elevadas seria feita por dois hidrofólios escamoteáveis, um na frente e outro atrás, fazendo com que o casco e as rodas perdessem o contato com a água, reduzindo sensivelmente o arrasto hidrodinâmico, possibilitando melhor desempenho na água.

SOLUÇÃO 7 (S7)

A sustentação desse veículo seria semelhante ao da solução 1.

Para fazer o veículo locomover-se, ter-se-ia um conjunto propulsor misto desempenhado por um mesmo dispositivo, a roda-hélice. A idéia seria que na terra o veículo seria tracionado por duas rodas laterais traseiras e essa mesma roda teria seus raios internos com formato de hélice naval. Os eixos das rodas-hélice deveriam permitir um movimento angular de 90° , de modo a posicionar as rodas perpendicularmente no caso de tracionar na terra e posicionar paralelamente no caso de propulsão na água.

O controle direcional seria feito pela diferença de rotação das rodas-hélices tanto para a água como terra.

Matriz de Soluções

| PROPRIEDADES | P | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | PS1 | PS2 | PS3 | PS4 | PS5 | PS6 | PS7 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Desempenho | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 20 | 20 | 10 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| Conforto | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 9 | 12 | 12 | 12 | 9 | 9 | 9 |
| Segurança | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 12 | 16 | 8 | 16 | 12 | 12 | 16 |
| Proteção Ambiental | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 12 | 16 | 16 | 16 | 12 | 12 | 16 |
| Durabilidade | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 12 | 12 | 9 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Manutenção | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 9 | 6 | 6 | 6 | 12 | 9 | 9 |
| Confiabilidade | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 16 | 12 | 12 | 12 | 16 | 12 | 12 |
| Autonomia (Consumo) | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 9 | 12 | 9 | 9 | 9 | 9 | 12 |
| Versatilidade | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 25 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 10 |
| Dirigibilidade | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 8 | 6 | 4 | 6 | 6 | 4 |
| Compacticidade | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | 8 | 2 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Manufaturabilidade | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 12 | 9 | 9 | 6 | 15 | 9 | 6 |
| Estética | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 12 | 12 | 6 | 12 | 9 | 9 | 12 |
| Custo Operacional | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 9 | 9 | 6 | 9 | 9 | 9 | 6 |
| Custo de Fabricação | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 | 12 | 9 | 9 | 6 | 15 | 9 | 9 |
| Conjunto | 5 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 25 | 20 | 10 | 20 | 20 | 20 | 15 |
| RESULTADOS Σ | 55 | | | | | | | | 204 | 196 | 145 | 176 | 192 | 178 | 174 |

Conclusão : A solução S1 deverá ser adotada para o Projeto Básico, visto que é a solução que recebeu a maior pontuação.

2) MODELAGEM DO PROJETO

2.1 MODELO ICÔNICO

Tendo em vista que o veículo da solução S1 recebeu a maior pontuação na seção anterior, a partir desse ponto o projeto será direcionado visando a descrição e o modelamento da solução adotada que denominamos de *HOVERCRAT*.

O *hovercraft* tem uma câmara interna em sua base (figura 2) que é enchido com ar pressurizado por um conjunto motor-hélice. O ar pressurizado na câmara escapa pelas bordas do casco (saia), formando assim um tipo de "colchão" de ar, que dessa forma sustenta-o e ao mesmo tempo permite que o mesmo deslize sobre quaisquer superfícies mais ou menos planas sem haver contato, diminuindo assim a força de resistência.

Para fazer o veículo se locomover numa certa direção, seria utilizado um conjunto propulsor motor-hélice aeronáutico (figuras 1 e 2), como dos pequenos aviões monomotores, capaz de mover o veículo tanto na água como na terra.

O controle direcional seria feito através de um leme vertical posicionado atrás das hélices propulsoras, semelhante também às aeronaves.

É importante mencionar que não existe apenas um tipo de *hovercraft*, e sim vários. Durante muito tempo, estudamos diversas soluções dos quais escolhemos duas. Essa escolha foi principalmente pela simplicidade de concepção e também de construção.

Na primeira solução, o *hovercraft* é sustentado pelo conjunto motor-hélice onde a hélice é tipo radial, e portanto adequado para gerar pressão. Dependendo da necessidade, é possível a utilização de rotores em série caso haja necessidade de pressão maior ou da não

disponibilidade de espaço para rotores de diâmetros maiores (utilizando assim rotores menores em série). A propulsão é dado pelo conjunto motor-hélice onde o rotor é tipo axial, priorizando maior vazão e portanto adequado para este fim (figura 3). Nesta configuração é possível utilizar um ou dois motores. Utilizando apenas um, este motor deve ser maior (mais potente) e além disso o veículo deve ter uma caixa de transmissão e de distribuição adicional. Por outro lado, utilizando dois motores, o preço inicial do veículo pode se elevar além de encarecer a manutenção.

A segunda solução é baseada em apenas um conjunto motor-hélice com o rotor tipo axial com as funções tanto para sustentação como propulsão. A desvantagem desta configuração está na dificuldade de controlar o veículo pois os dois subsistemas não são, a princípio, independentes (figura 4). Entretanto esse problema pode ser resolvido com muitas horas de trabalho e dedicação. Além disso, essa solução nos leva à *Engenharia Econômica ou de Valor*, possibilitando na otimização do veículo.

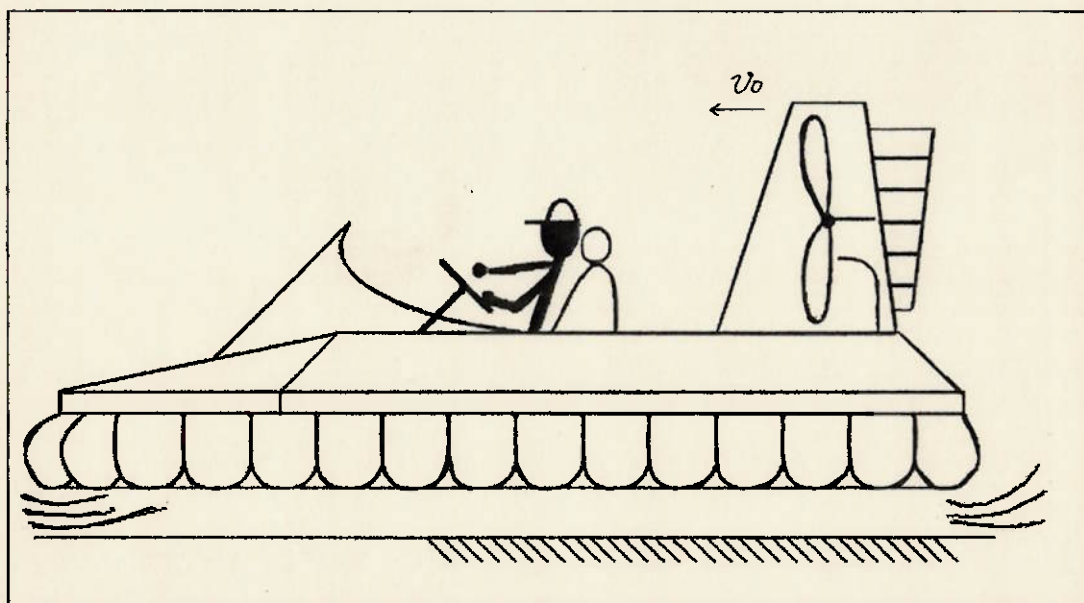


figura 1

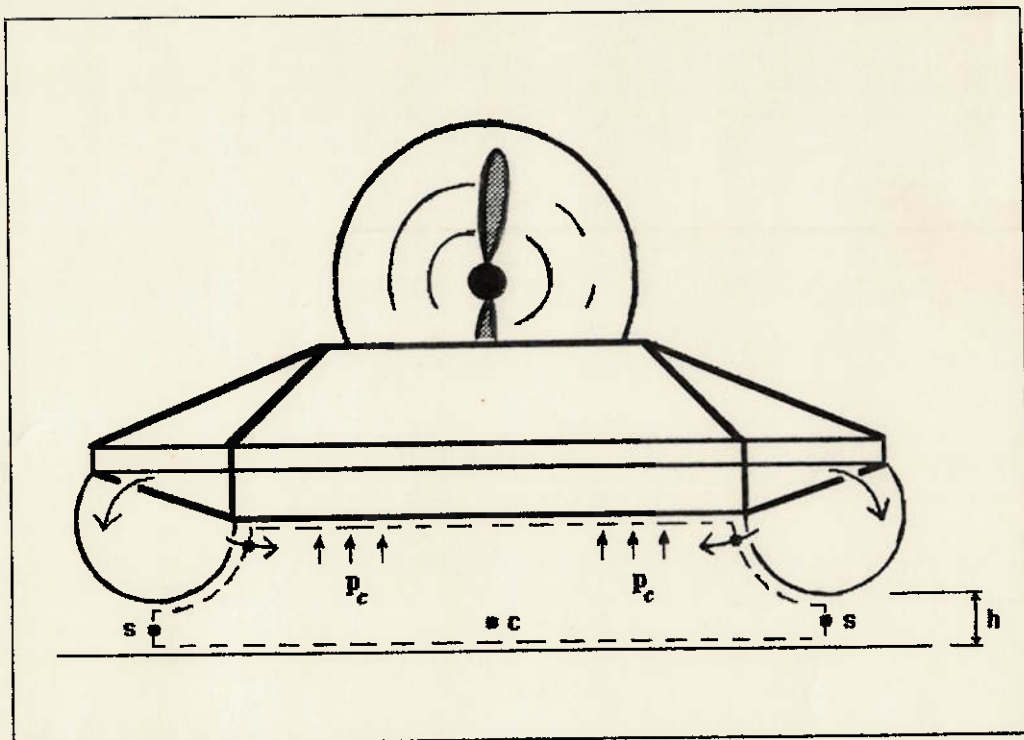
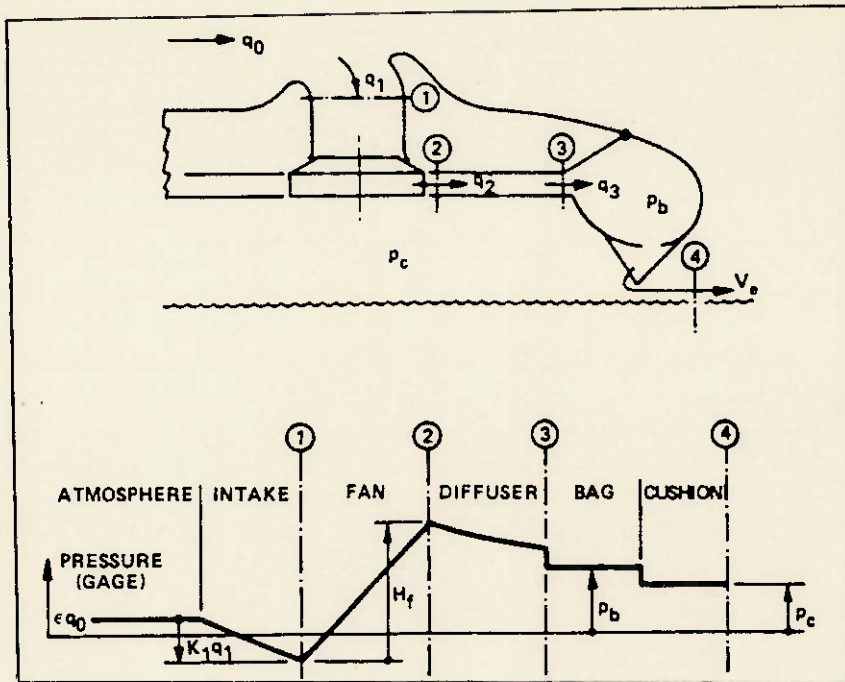


figura 2

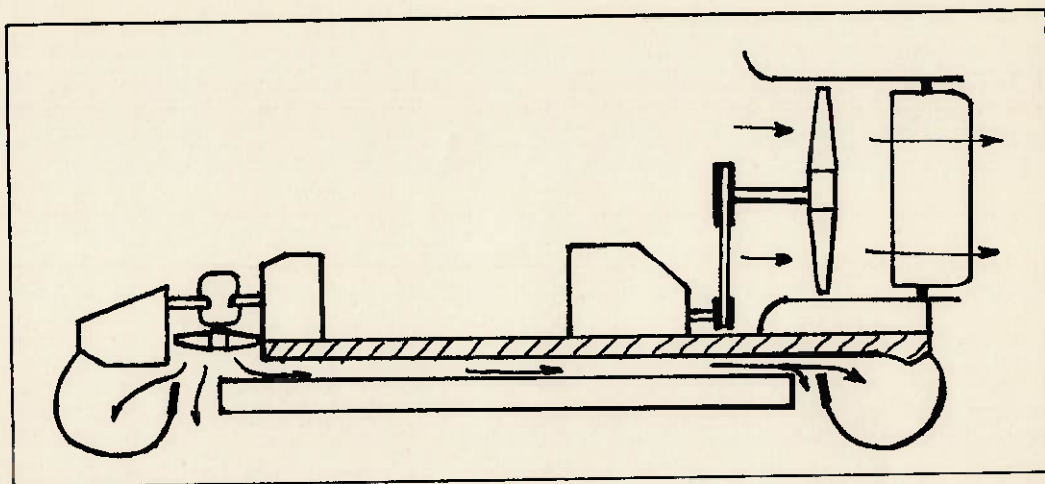


figura 3

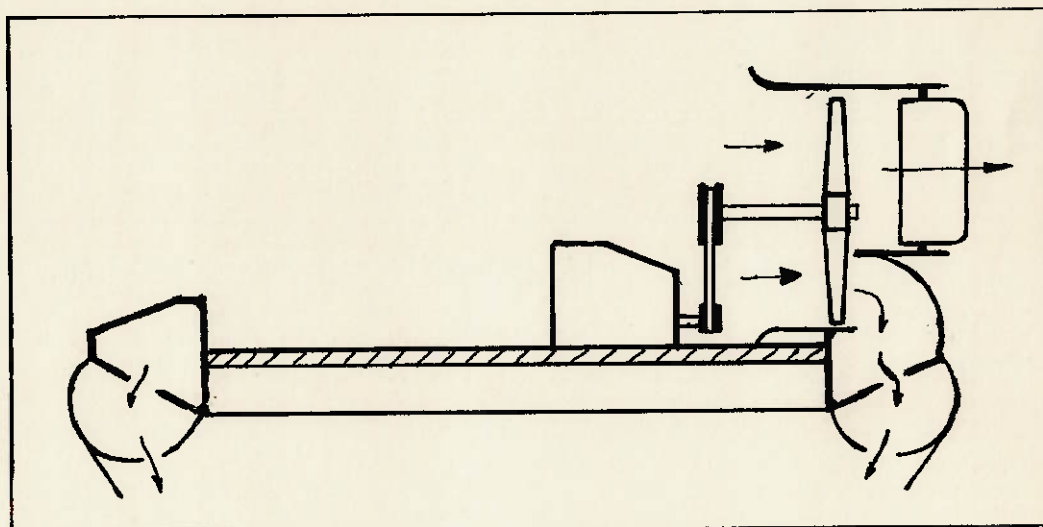


figura 4

No ANEXO I , pode-se encontrar um desenho de conjunto de um hovercraft.

2.2 MODELO ANALÓGICO

2.2.1 CONSTRUÇÃO DE UM MODELO ANALÓGICO (REDUZIDO)

Com a disponibilidade de tempo e financiamento que tivemos durante o ano, pudemos pensar em algumas soluções para construção de um modelo funcional de um hovercraft, para a verificação dos princípios físicos envolvidos, além de detectar problemas de fabricação e de montagem pois seria fundamental na construção de um protótipo.

Um breve histórico do modelo funcional :

- **Ar comprimido**

Foi instalada, recentemente, nos laboratórios de Macânica dos Fluidos, ar comprimido com a pressão máxima de linha de 7 bar. Assim pudemos ensaiar e testar o veículo utilizando ar comprimido para a medição de pressão e da vazão necessárias para o seu funcionamento. Uma caixa de papelão foi utilizada com o furo superior, onde foi colocado um funil conectado a linha de pressão.

Ligamos o ar e mesmo na pressão máxima o veículo não havia se movido. Tentamos diminuir a perda de carga da mangueira e do filtro do medidor de pressão (que era considerável). Com este procedimento, o resultado foi bem melhor.

Mesmo assim, o resultado ainda era insatisfatório visto que o jato estava muito direcionado no centro do veículo. Para corrigir este problema, foi construída um tanque no meio da câmara, assim direcionava o jato para a lateral e criando uma cortina de ar. A vazão não era suficiente mas logo percebemos a evolução deste modelo funcional (figura 5).

- Motor de combustão para aeromodelo

Para resolver o problema da potência, resolvemos usar um motor de dois tempos para aeromodelos, cuja a principal vantagem era baixo peso, importante para o nosso veículo.

Conseguimos dois motores de combustão de meio cavalo ($\sim 370W$), que nunca havia sido usado. O combustível utilizado era metanol com 25% de óleo de rícino, e como bateria um conjunto de 8 pilhas grandes (1,5V) em paralelo.

Após tentar, durante dois meses, o seu funcionamento, tivemos que procurar uma outra alternativa pois não havíamos mais tempo, pois esses motores estavam com problemas como : vazamento da câmara de combustão e alta voltagem na vela que queimava a todo instante quando começamos a utilizar uma bateria própria para aeromodelismo (2V). Além disso não estávamos familiarizados com estes equipamentos e era muito difícil dar partida no motor.

- Motor elétrico

Pelo prazo que tivemos de apresentar um modelo funcional, fomos obrigados a tomar uma decisão sensata e daí partimos para um motor elétrico. Mesmo sendo mais pesado quando comparado com motor de combustão, era de fácil manuseio, principalmente na sua partida. O problema do peso do motor foi resolvido direcionando o jato perifericamente e na utilização de uma saia, que permitiu uma grande estabilidade e eficiência do veículo. Com esta solução foi possível um peso consideravelmente exagerado ($\sim 4\text{ kg}$) para um veículo do tamanho de uma caixa de sapato. A saia foi construída simplesmente usando sacos plásticos e o jato foi direcionado perifericamente usando grelhas de papelão e isopor, que teria também a função de tanque de flutuação (figura 6). Como resultado, obtivemos um veículo satisfatório onde pudemos observar fenômenos físicos envolvidos. Infelizmente não foi possível terminar a parte de controle

do veículo bem como acertar em definitivo a sua estabilidade (vide ANEXO - II, fotografia do modelo funcional).

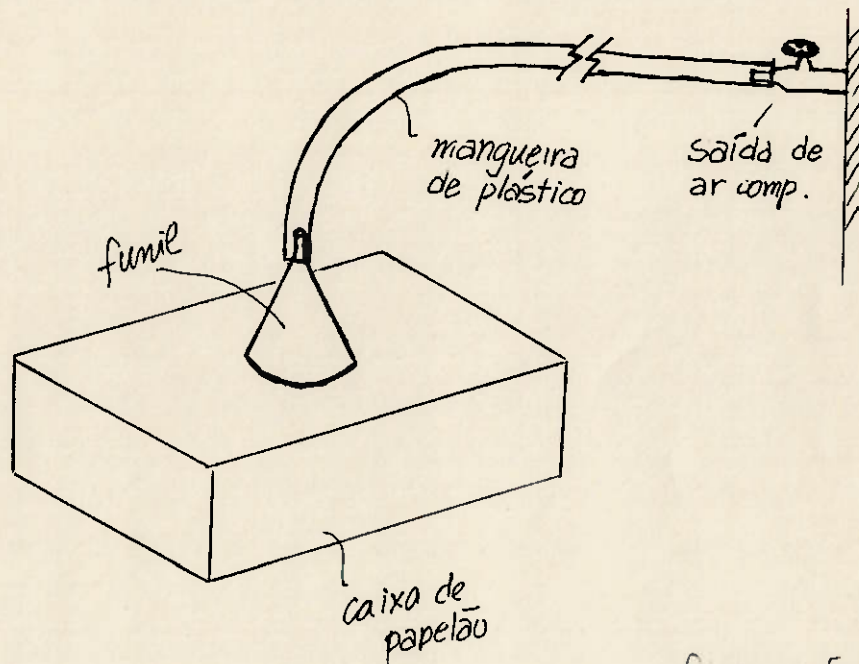


figura 5

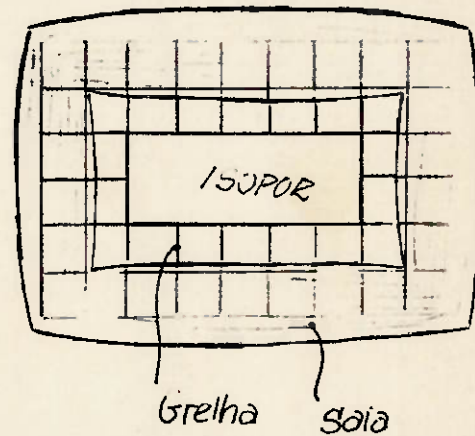
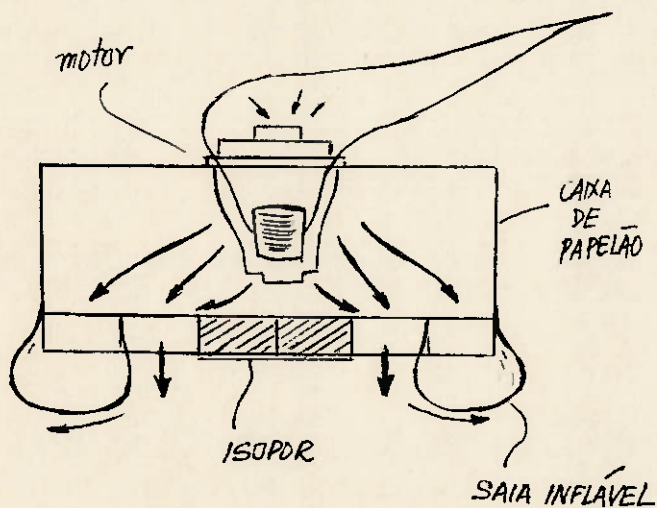
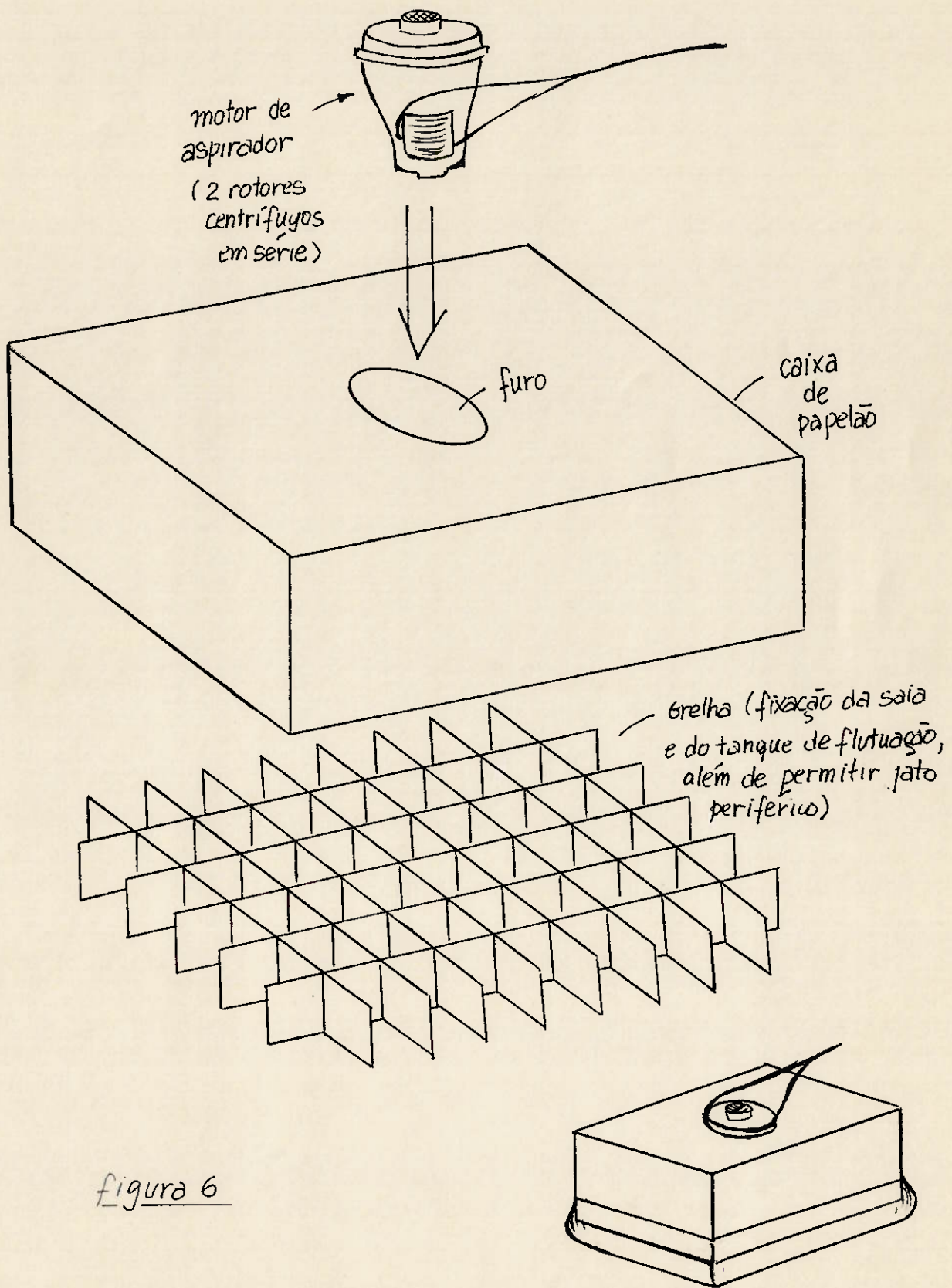


figura 6



2.3 MODELO SIMBÓLICO

2.3.1 CONSTRUÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA SUB-SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO

•Cálculo da Potência de Sustentação N_L

Para o veículo (hovercraft), ilustrado na figura 2, a pressão que resulta no empuxo (sustentação) é dado por :

$$P_c = \frac{G}{S} \quad (1)$$

onde :

P_c : Pressão na câmara (colchão de ar) [N/m²];

G : Peso total (veículo, passageiros e bagagens) [N];

S : Área da base do veículo [m²].

O colchão de ar é formado devido a pressão P_c no interior da câmara. Desta forma, pode ser calculada a velocidade com que o ar escapa perifericamente pela abertura de altura " h ", entre a superfície inferior (de navegação) e a saia inflável. Pela aplicação da Equação de Bernoulli:

$$p_s + \frac{1}{2}\rho \cdot V_s^2 + \gamma \cdot z_s = p_c + \frac{1}{2}\rho \cdot V_c^2 + \gamma \cdot z_c \quad (2)$$

onde :

o índice "s" se refere à saída do ar pela abertura h do veículo
e índice "c" as condições na câmara.

Para a simplificação da equação (2) acima, pode-se tomar algumas hipóteses, razoáveis e aceitáveis do ponto de vista da Mecânica dos Fluidos :

$$z_s \approx z_c$$

$$v_c \cong 0$$

$$p_s \cong p_a$$

onde:

P_a : pressão atmosférica.

Substituindo essas hipóteses na equação (2) vem que:

$$0 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_s^2 + 0 = P_c + 0 + 0$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2P_c}{\rho}} \quad (3)$$

onde :

ρ : massa específica do ar [Kg/m^3];

V_s : velocidade do ar que escapa perifericamente pela abertura de altura h [m/s];

h : abertura entre a superfície de navegação e a saia inflável por onde escapa o ar [m].

Então, a vazão de ar Q_s que escapa pela abertura h com velocidade V_s para a sustentação do veículo pode ser escrita como sendo:

$$Q_s = V_s \cdot h \cdot C \quad (4)$$

onde :

C : perímetro da base do veículo [m].

Assim a potência necessária para o escoamento de ar pela base do veículo, e perifericamente, é dada por :

$$N_L = \rho \cdot g \cdot Q_s \cdot H_s \quad (5)$$

onde : $H_s = V^2/2g$ é a carga do jato periférico que escapa sob o hovercraft.

Portanto a equação (5) pode ser reescrita :

$$N_L = \rho \cdot Q_s \cdot \frac{V_s^2}{2} \quad (6)$$

Para determinar a potência do motor para sustentação do veículo deve-se levar em consideração :

η : rendimento global (motor, hélice, transmissão, ...);

K_T : perda de carga total $K_T = f(\text{geometria interna, material para dutos, ...})$;

F : coeficiente de eficácia $F = f(\eta, K_T) \leq 1$.

Assim a potência do motor para a sustentação do motor pode ser escrita como sendo:

$$N_{L_{motor}} = \frac{N_L}{F} \quad (7)$$

Substituindo as equações (1) ~ (6) na (7) obtém-se a equação global da potência do motor para sustentação do veículo :

$$N_{L_{MOTOR}} = \frac{h \cdot C \cdot \sqrt{2} \cdot G^{3/2}}{\sqrt{\rho} \cdot F \cdot S^{3/2}} \quad (I)$$

2.3.2 CONSTRUÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA SUB-SISTEMA DE PROPULSÃO

• Estimativa da velocidade de cruzeiro, V_o , e da potência de propulsão, N_T

A equação da quantidade de movimento na forma integral, aplicada ao volume de controle (VC), figuras 1 e 2, é:

$$\sum \vec{F}_{ex} + \vec{F}_{campo} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho \vec{v} \cdot d\forall + \int_{SC} \rho \vec{v} \left(\vec{v} \cdot d\vec{A} \right) \quad (8)$$

Considerando regime permanente

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho \vec{v} \cdot d\forall = 0$$

Se projetarmos a eq. (8) na horizontal obtemos

$$\left[\left(\sum \vec{F}_{ex} \right)_X = \int_{SC} \rho \vec{v} \left(\vec{v} \cdot d\vec{A} \right) \right] \quad (9)$$

As forças externas que atuam na direção X são: a força de arrasto F_D e a força de propulsão F_T . Na fig.7, estão indicadas as velocidades que serão consideradas para estimarmos a integral do 2º membro da eq. (9) pode então ser escrita como :

$$F_T - F_D = \rho \cdot h \cdot l (V_s + V_0)^2 - \rho \cdot h \cdot l (V_s - V_0)^2 + 2\rho \cdot h \cdot L \cdot V_s \cdot V_0 \quad (10)$$

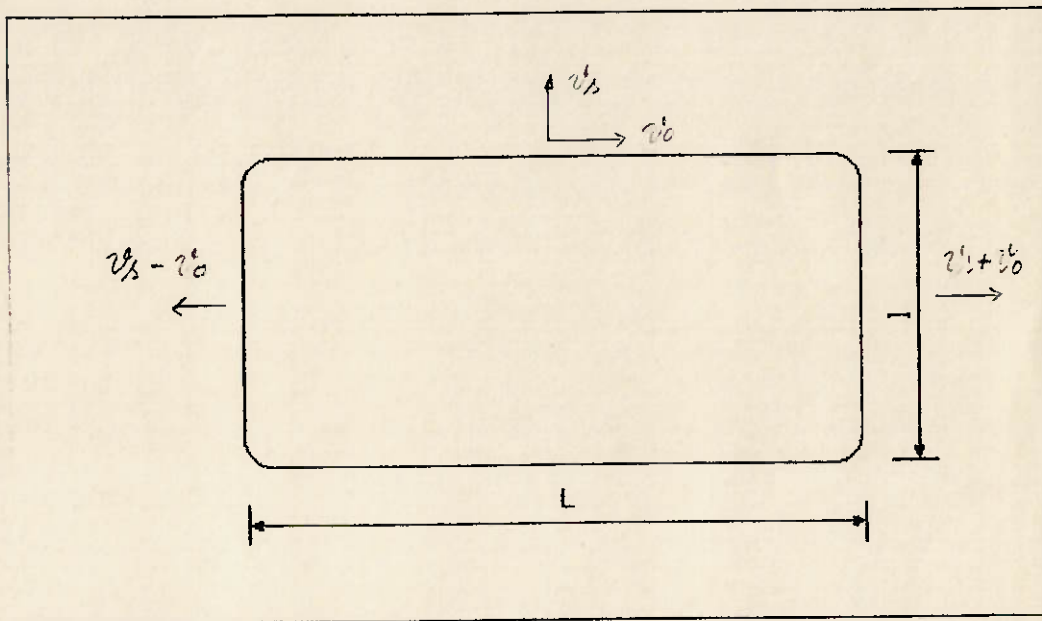


figura 7

Desenvolvendo-se a Equação (10), resulta em :

$$F_T = F_D + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C} \right) \cdot \rho \cdot Q_s \cdot V_0 \quad (11)$$

onde :

l : largura nominal do veículo [m];

L : comprimento nominal do veículo [m];

C : perímetro onde $C = 2 \cdot (L + l)$;

Q_S : $Q_S = V_S \cdot h \cdot C$

Na equação (11) a força de arrasto é, em geral, expressa como :

$$F_D = \rho \cdot A \cdot C_D \cdot \frac{V_0^2}{2} \quad (12)$$

onde :

A : área de ataque (área máxima normal à direção de V_0).

C_D : coeficiente de arraste ($\cong 1,0$)

A força de propulsão F_T é devida à ação de uma hélice onde seu valor estático é F_e ($V_0 = 0$). Este valor pode ser obtido experimentalmente do seguinte modo : com o veículo pairando e impedido de se deslocar por meio de um dinamômetro e assim medindo a força F_e .

Além disso, a força de propulsão diminui com aumento da velocidade de cruzeiro V_0 de modo que podemos estimar uma aproximação linear, como a seguir :

$$F_T = F_e \cdot (1 - K \cdot V_0) \quad (13)$$

Da definição do coeficiente de propulsão tem-se :

$$C_T = \frac{F_T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (14)$$

onde :

n : rotação [rot/s];

D : diâmetro da hélice [m].

Pela referência [7] (pág.292 Fig. 152), podemos adotar uma relação linear para C_T em função de $V_0/(nD)$:

$$C_T = 0,15 - 0,1 \cdot \frac{V_0}{(n \cdot D)} \quad (15)$$

Então, substituindo (15) em (14) :

$$F_T = \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \left(0,15 - 0,1 \cdot \frac{V_0}{n \cdot D} \right) \Rightarrow$$

$$\boxed{F_T = 0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 - 0,1 \cdot \rho \cdot V_0 \cdot n \cdot D^3} \quad (16)$$

Se compararmos as equações (13) e (16), resulta que :

$$F_e = 0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4$$

$$K = \frac{0,67}{n \cdot D} \quad (17)$$

Substituindo as equações (12) e (16) na (11), resulta que :

$$0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 - 0,1 \cdot \rho \cdot V_0 \cdot n \cdot D^3 = \rho \cdot A \cdot C_D \cdot \frac{V_0^2}{2} + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C}\right) \cdot \rho \cdot Q_s \cdot V_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\rho \cdot A \cdot C_D}{2}\right) \cdot V_0^2 + \left(0,1 \cdot \rho \cdot n \cdot D^3 + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C}\right) \cdot \rho \cdot Q_s\right) \cdot V_0 + (-0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4) = 0$$

(18)

Logo da equação (18) acima temos :

$$V_0 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

onde :

$$A = \left(\frac{\rho \cdot A \cdot C_D}{2}\right)$$

$$B = \left(0,1 \cdot \rho \cdot n \cdot D^3 + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C}\right) \cdot \rho \cdot Q_s\right)$$

$$C = (-0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4)$$

(19)

A potência de propulsão pode ser calculada pela expressão :

$$N_T = \frac{F_T \cdot V_0}{\eta_P} \quad (II)$$

2.3.3 CÁLCULO INICIAL & ESTIMATIVO PARA UM VEÍCULO DE DOIS PASSAGEIROS

Dados :

| | | | |
|--------|-------------|-------------------------|------------------------------|
| G | 500 x 9,8 | [N] | Peso Total |
| L | 4 | [m] | Comprimento Nominal |
| l | 2 | [m] | Largura Nominal |
| h | 0,02 | [m] | Altura de Sustentação |
| ρ | 0,125 x 9,8 | [kg / m ³] | Densidade do Ar |
| n | 3600 - 60 | [rpm - rot/s] | Rotação da Hélice Propulsora |
| D | 1,0 | [m] | Diâm. da Hélice Propulsora |
| A | 1,40 | [m ²] | Área de Ataque |
| C | 12 | [m] | Perímetro da Base |
| η | 60 | [%] | Rendimento Motor-Hélice |

Resultados obtidos utilizando as equações anteriores :

| | | | |
|----------------------|--------|------------------------|------------------------------------|
| P_c | 613,13 | [N / m ²] | Pressão na Câmara |
| V_s | 30 | [m / s] | Velocidade do Ar pela abertura "h" |
| Q_s | 7,20 | [m ³ / s] | Vazão do Ar pela abertura "h" |
| N_L | 4.000 | [W] | Potência de Sustentação |
| $N_{L\text{ MOTOR}}$ | 7.000 | [W] | Potência considerando F = 0,6 |

| | | | |
|-------|-----------------------|-----------|------------------------|
| F_D | $0,86 \cdot V_o^2$ | [N] | Força de Arraste |
| F_T | $662 - 7,3 \cdot V_o$ | [N] | Força de Propulsão |
| V_o | 19 | [m / s] | Velocidade de cruzeiro |
| N_p | 14.500 | [W] | Potência de Propulsão |

3) ANÁLISE DA SENSIBILIDADE

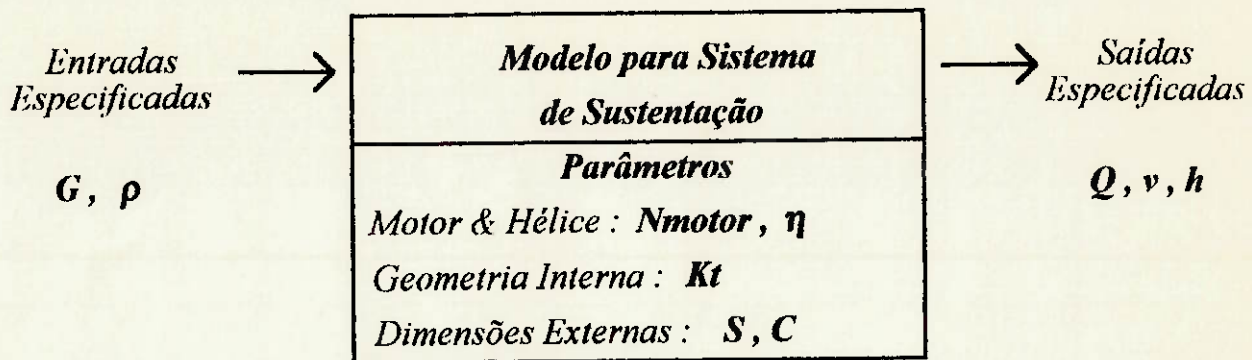
3.1 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE PARA SUB-SISTEMA SUSTENTAÇÃO

Da modelagem matemática (seção 2.3.1), para a potência de sustentação do veículo, resulta em uma equação global .

Assim, da equação (I) :

$$N_{L_{MOTOR}} = \frac{h \cdot C \cdot \sqrt{2} \cdot G^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\rho} \cdot F \cdot S^{\frac{3}{2}}} \quad (20)$$

O objetivo, nesta etapa do projeto será verificar a influência dos parâmetros sobre as saídas especificadas, dadas as entradas especificadas : sensibilidade do desempenho.



onde:

Entrada Especificada

G = peso total (carga variável e constante);

Características do fluido (ar) : (ρ).

Saídas Especificadas

h = altura (abertura entre a superfície e a saia inflável);

v = velocidade com que o ar escapa pela abertura "a";

Q = vazão do ar pela abertura "h".

Parâmetros

Geometria do Veículo : perímetro (C), área útil (S).

Geometria Interna do Veículo : K_T ;

Motor & Hélice : potência do motor (N_{motor}) e rendimento da hélice (η).

onde : $F = f(K_T, \eta)$

Rearranjando a equação acima :

$$h = \frac{N_{motor} \cdot F \cdot S^{\frac{3}{2}}}{C} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}} \quad (21)$$

onde :

Parâmetros :

$$[P] = k = \frac{N_{motor} \cdot F \cdot S^{\frac{3}{2}}}{C}$$

Entradas Especificadas :

$$[E] = \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}$$

Parâmetros do fluido :

$$[S] = h$$

Assim a equação pode ser escrita como :

$$[S] = [P] \cdot [E] \quad (22)$$

onde :

$[S]$ = parâmetro de saída

$[E]$ = parâmetro de entrada

Para determinar sensibilidade dos parâmetros para saídas desejadas especificadas, a condição é dado por :

$$\boxed{[S]_{max} \geq [S] \geq [S]_{min} \Rightarrow [P]_{max} \geq [P] \geq [P]_{min}} \quad (23)$$

Assim de acordo com a inequação (23) e pela equações (21) e (22) :

Caso1) Determinação de $[P]_{min} = k_{min}$

$$h \geq h_{min} \Rightarrow k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}} \geq h_{min}$$

$$\boxed{k \geq \frac{h_{min}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}}} \quad (24)$$

Caso 2) Determinação de $[P]_{max} = k_{max}$

$$h \leq h_{max} \Rightarrow k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}} \leq h_{max}$$

$$\boxed{k \leq \frac{h_{max}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}}} \quad (25)$$

Assim, chega-se aos limites aceitáveis para o parâmetro k :

$$\frac{h_{max}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}} \geq k \geq \frac{h_{min}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}} \quad (26)$$

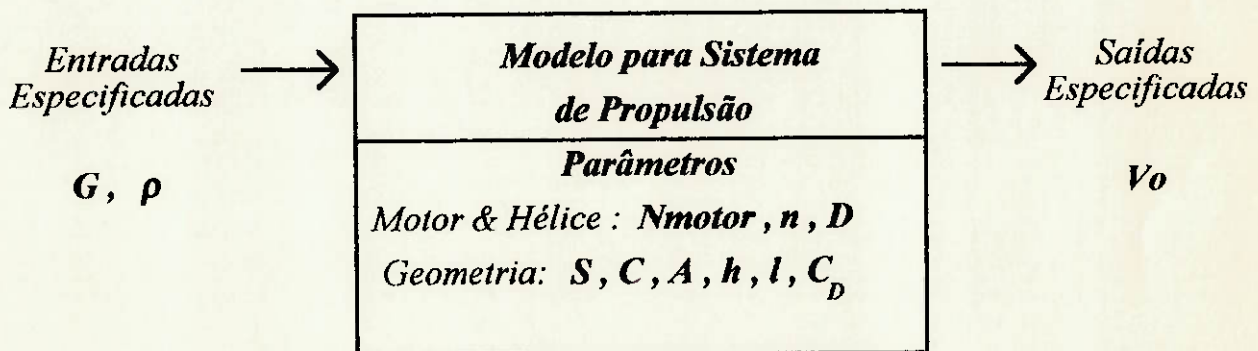
$$\boxed{\frac{h_{max}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}} \geq \frac{N_{motor} \cdot F \cdot S^{\frac{3}{2}}}{C} \geq \frac{h_{min}}{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot G^3}}}} \quad (27)$$

3.2 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE PARA SUB-SISTEMA PROPULSÃO

Da modelagem matemática (seção 2.3.2), para a velocidade de cruzeiro do veículo, tem-se que, da equação (18) :

$$\left(\frac{\rho \cdot A \cdot C_D}{2}\right) \cdot V_0^2 + \left(0,1 \cdot \rho \cdot n \cdot D^3 + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C}\right) \cdot \rho \cdot Q_s\right) \cdot V_0 + (-0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4) = 0$$

O objetivo, nesta etapa do projeto será verificar a influência dos parâmetros sobre as saídas especificadas, dadas as entradas especificadas : sensibilidade do desempenho.



onde:

Entrada Especificada

G = peso total (carga variável e constante);

Características do fluido (ar) : (ρ) .

Saídas Especificadas

V_o = velocidade de cruzeiro

Parâmetros

Geometria do Veículo : perímetro (C);
 área útil (S);
 altura de sustentação (h);
 área de ataque (A);
 coeficiente de arraste ($C_D \sim 1$);
 largura nominal do veículo (l).

Motor & Hélice : potência do motor (N_{motor});
 rendimento da hélice (η);
 rotação (n);
 diâmetro da hélice.

E finalmente usando as equações 1, 3, 4, 16, 19 e II , podemos variar os parâmetros, mantido a entrada especificada e dentro da faixa aceitável de saída, a fim de determinarmos os mais críticos. São elas as equações :

$$P_c = \frac{G}{S} \quad (1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2P_c}{\rho}} \quad (3)$$

$$Q_s = V_s \cdot h \cdot C \quad (4)$$

$$F_T = 0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 - 0,1 \cdot \rho \cdot V_0 \cdot n \cdot D^3 \quad (16)$$

$$V_0 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2A}$$

onde :

$$A = \left(\frac{\rho \cdot A \cdot C_D}{2} \right)$$

$$B = \left(0,1 \cdot \rho \cdot n \cdot D^3 + \left(1 + \frac{2 \cdot l}{C} \right) \cdot \rho \cdot Q_s \right)$$

$$C = (-0,15 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4)$$

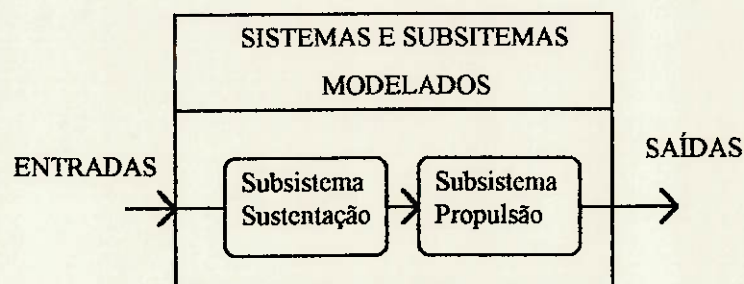
(18)

$$N_T = \frac{F_T \cdot V_0}{\eta_P}$$

(II)

4) ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE

4.1) COMPATIBILIDADE FUNCIONAL



De acordo com a equação (11) e através de ensaios com o modelo funcional, verificou-se que, quando o motor de sustentação está desligado, não adianta ligar o motor de propulsão que o veículo não se move. Ou seja, deve haver uma vazão que escoar pela abertura " h " e assim proporcionando um colchão de ar que praticamente anula o atrito deste com a superfície. Logo deve existir a vazão mínima que sustenta o veículo quando se tem h_{min} . E ainda, a vazão não deve ser maior do que já especificado e determinado pela h_{max} pois a potência do motor é limitado. Além do mais, poderia haver problemas de estabilidade. Portanto a saída do subsistema de sustentação deve ser compatível funcionalmente com a entrada do subsistema de propulsão.

4.2) COMPATIBILIDADE DIMENSIONAL

Para a compatibilidade dimensional, devemos sempre estar atentos a fim de assegurar a montagem de todos os subsistemas e seus componentes em um arranjo físico otimizado. Além disso, é necessário e muito importante para a disposição correta de todos os elementos devido a existência de um centro de massa que é imprescindível para garantir a estabilidade e uma boa performance do veículo. Esse arranjo físico ótimo pode ser determinado calculando-se momentos, como indica a figura 8 abaixo.

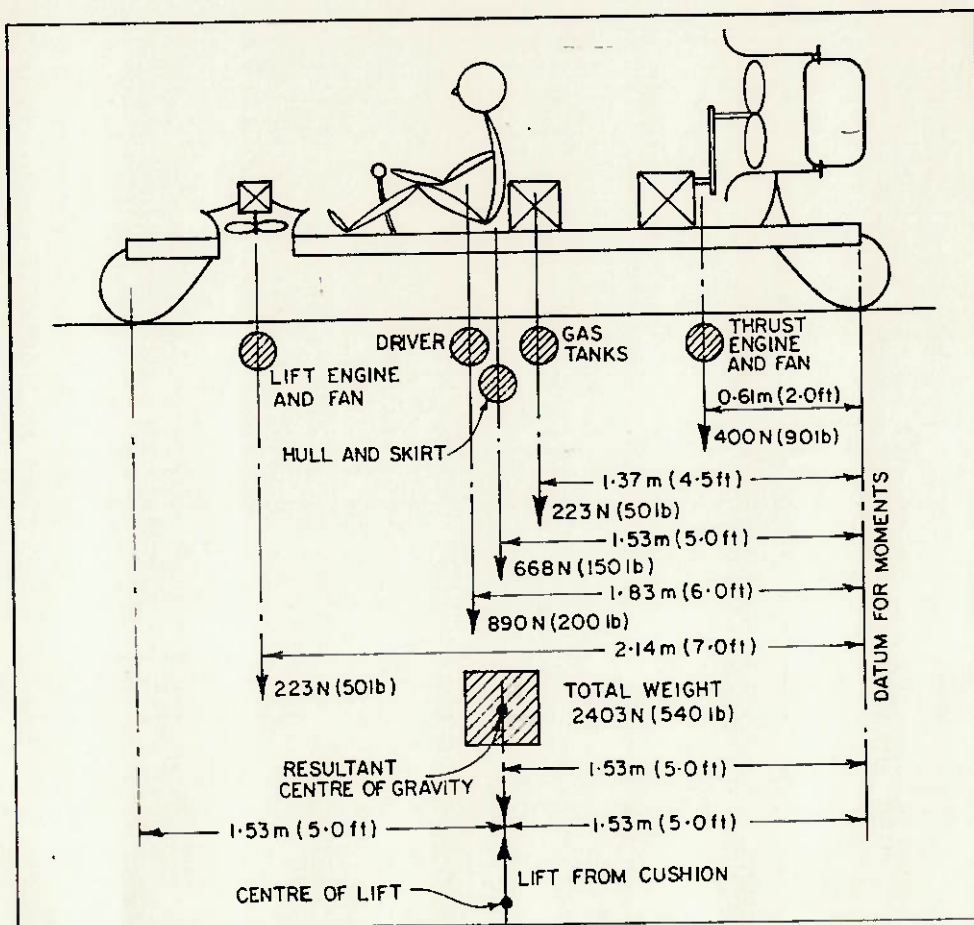
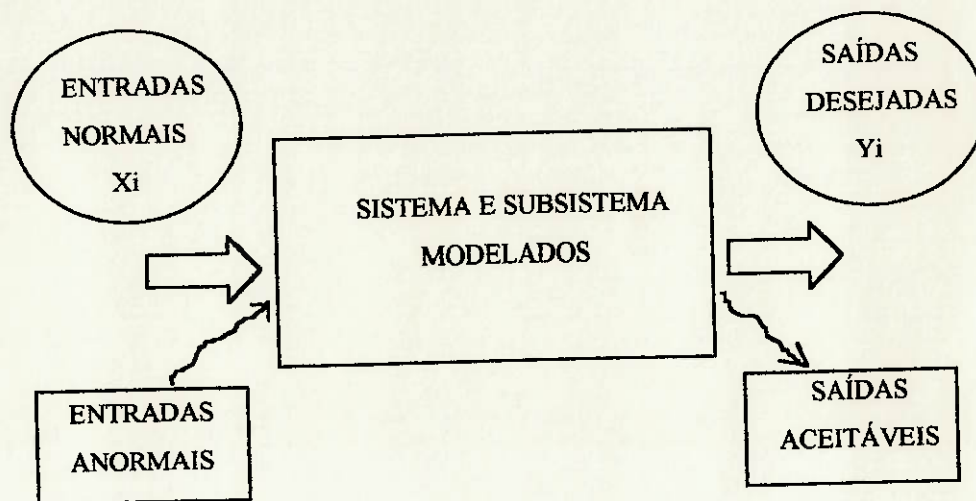


figura 8

5) ANÁLISE DA ESTABILIDADE

O objetivo nesta etapa do projeto é definir faixas de valores para os parâmetros de modo a segurar estabilidades intrínseca e extrínseca.



5.1) ESTABILIDADE INTRÍNSECA

As entradas normais X_i devem produzir saídas desejadas Y_i . Saídas indesejadas, ainda que aceitáveis, podem surgir por problemas dinâmicos entre os subsistemas.

5.2) ESTABILIDADE EXTRÍNSECA

As entradas anormais especificadas deverão produzir saídas, pelo menos aceitáveis, também especificadas.

Para isso segue abaixo uma tabela que contém a classificação das entradas, normais e anormais e suas especificações :

| | Entradas Normais | Entradas Anormais |
|--|------------------|-------------------|
| Velocidade dos ventos | 0 a 50 km/h | 50 a 70 km/h |
| Altura das ondas | 0 a 0,3 m | 0,3 a 0,5 m |
| Desnível de transição terra-água ou vice-versa | 0 a 0,15 m | 0,15 a 0,30 m |
| Rampa | 0 a 17 graus | 17 a 25 graus |
| Obstáculos Pontiagudos (altura) | 0 a 0,05 m | 0,05 a 0,10 m |
| Obstáculos não-pontiagudos (altura) | 0 a 0,15 m | 0,15 a 0,30 m |
| Buracos (diâmetro) | 0 a 0,5 m | 0,5 a 1,0 m |
| Canal longitudinal (largura do canal) | 0 a 0,15 m | 0,15 a 0,25 m |
| Canal transversal (largura do canal) | 0 a 0,3 m | 0,3 a 0,50 m |

6) PREVISÕES PARA O FUTURO

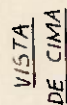
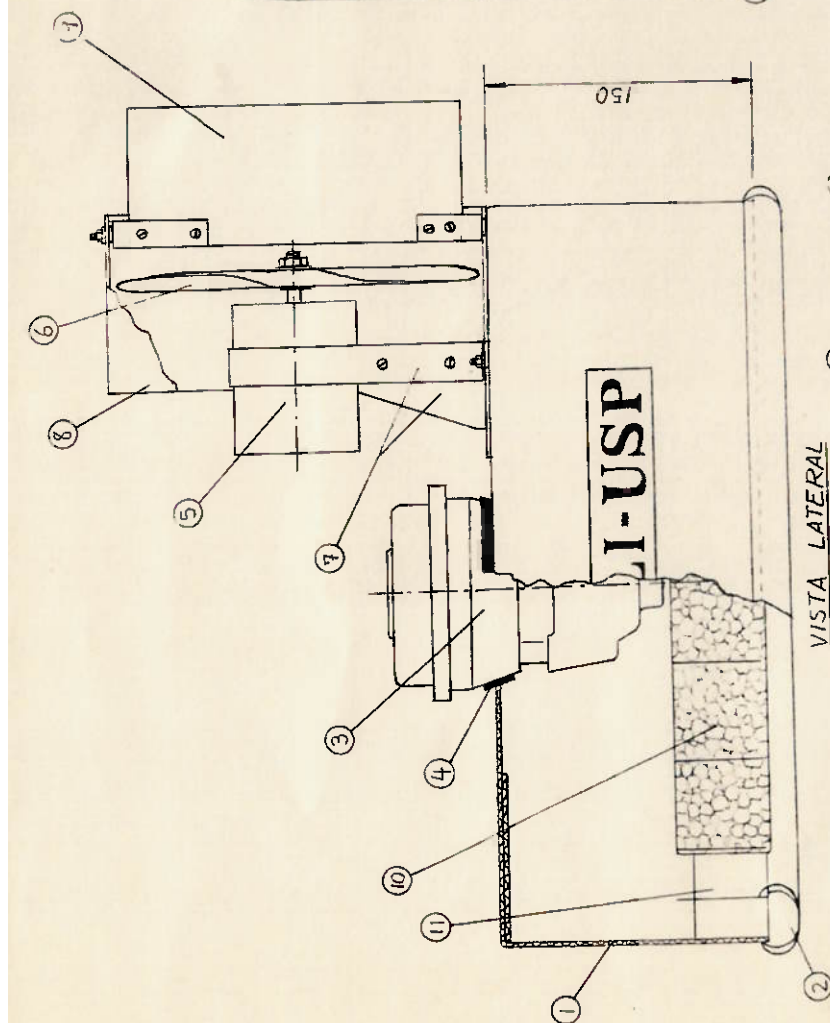
Uma pesquisa feita junto ao mercado consumidor mostra que ele estará apto a receber o veículo quando este for lançado no mercado (aproximadamente em 2 anos).

Estima-se, em torno de, mais 40.000 horas de trabalho até a construção do veículo final, a ser realizado por mais ou menos 20 pessoas entre engenheiros e técnicos. Espera-se que o protótipo esteja pronto em um ano e que para o início da produção desses veículos seja necessário mais um ano de trabalho até o lançamento do mesmo.

O hovercraft não é comumente encontrado no mercado em grandes quantidades ou proporções devido a um número limitado de fabricantes, ao contrário dos veículos convencionais. Dessa forma, acredita-se que não ocorrerão grandes mudanças do mercado nessa área e muito menos a obsolescência técnica, garantindo o estudo do veículo durante o período de projeto e fabricação, proporcionando segurança e garantia ao fabricante no tocante a aceitação.

7) REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Madureira, O.M., Apostila do curso PMC-475 - Metodologia do Projeto , São Paulo, 1989.
- [2] Amyot, J.R., Hovercraft Technology, Economics and Applications , Studies In Mechanical Engineering 11, Elsevier Science Pub., 1989.
- [3] Elsley, G.H. & Devereaux, A.J., Hovercraft Design and Construction , David & Charles Newton Abbot, 1968.
- [4] Hayden, E.S., How It Works ... The Hovercraft , Ladybird Books LTD.
- [5] McLeavy, R., Hovercraft and Hydrofoils , Jane's Pocket Book 21, Jane's Publishing Company, London, 1980.
- [6] Ventura, V.J., Legislação Federal Sobre o Meio Ambiente , Editora Vana Ltda, 1ª edição, 1992.
- [7] Rouse, H., Elementary Mechanics of Fluids , John Wiley, N.Y., 1964.



| | | |
|----|-------------------------------------|-------------------|
| 11 | Estrutura em "grelha" | Papel cartolina |
| 10 | Flanetes | Isopor |
| 9 | Lente + arçã | Chapa de aço inox |
| 8 | Duto de segurança | Chapa de aço inox |
| 7 | Suporte do motor | Chapa de aço inox |
| 6 | Helice de propulsão | W.D. fino de 4,50 |
| 5 | Motor elétrico | Fot. 220V/3400rpm |
| 4 | Vedação | Tira de borracha |
| 3 | Caj. motor + motores aux. 1/2" x 3" | Bot. 220V/3400rpm |
| 2 | Saia | Filme plástico |
| 1 | Estrutura (in formato de caixa) | Papel ondulado |

DISC FLNA PMC 581 - Proj Mecânico II EPU SP

| | | |
|---------|---|---------|
| ESCALA: | TITULO: | DATA: |
| 1:3 | Desenho de conjunto do "Hovercraft" (modelo) | Dez/194 |



