

**FILIPPE BENATO JERÔNIMO
TALES AUGUSTO GODOY**

“REMOCICLO”

VEÍCULO TERRESTRE DE PROPULSÃO A REMO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Engenheiro Mecânico

São Paulo
2002

**FILIPPE BENATO JERÔNIMO
TALES AUGUSTO GODOY**

“REMOCICLO”

VEÍCULO TERRESTRE DE PROPULSÃO A REMO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Engenheiro Mecânico

Professor Orientador:
Prof. Dr. Demetrio C. Zachariadis

São Paulo
2002

FICHA CATALOGRÁFICA

Godoy, Tales Augusto
Jerônimo, Filipe Benato

Projeto de Veículo Terrestre de Propulsão a Remo. São
Paulo, 2002

Projeto Mecânico – Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica

Aos nossos pais e namoradas, que nos apoiaram e
incentivaram nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso estimado professor Demétrio Cornílios Zachariadis, que sempre acreditou em nosso potencial e nos deu suporte no projeto.

Ao professor Gilmar Ferreira Batalha, que sempre se dispôs a nos ajudar.

Aos nossos amigos, que nos incentivaram neste projeto.

Aos funcionários da Escola Politécnica.

Aos amigos engenheiros Jorge e Roberto Lakatos, por nos fornecer aos equipamentos necessários para a construção do protótipo, e a seus funcionários.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na elaboração deste projeto.

RESUMO

Este trabalho reúne os elementos utilizados na construção de um veículo terrestre de propulsão a remo, criando uma nova categoria no meio esportivo além de um novo esporte de lazer. Detalha-se, aqui, seus principais sistemas, divididos em estrutural, tração e direção. Seu ponto principal é o princípio utilizado no acionamento do sistema de direção, através da inclinação do condutor. A partir do protótipo construído, verificou-se o êxito dos sistemas desenvolvidos, além de sua simplicidade e confiabilidade.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE.....	3
3	PRINCIPAIS REQUISITOS.....	4
3.1	Funcionais	4
3.2	Construtivas	5
3.3	Econômicas.....	5
4	PROJETO.....	6
4.1	Sistema Estrutural.....	9
4.2	Sistema de Transmissão De Potência.....	13
4.2.1	Movimento da Remada em um Barco a Remo:	13
4.2.2	Movimento da Remada no Veículo:	15
4.2.3	Descrição do sistema.....	18
4.3	Sistema de Direção	22
4.3.1	Cálculo das dimensões do sistema	26
4.4	Outros Sistemas	31
4.4.1	Banco.....	31
4.4.2	Sistema De Frenagem	32
5	ANÁLISE DINÂMICA	33
5.1	Dados de entrada	34
5.2	Dados de saída	37
6	ESTUDO ECONÔMICO.....	41
7	CONCLUSÃO	43
8	REFERÊNCIAS:	44

1 INTRODUÇÃO

Este projeto visa desenvolver e construir um protótipo de um veículo terrestre de propulsão humana, concebido inicialmente para uso individual, em que o usuário simule os movimentos de um barco a remo com parlamenta dupla, a qual o remador utiliza dois remos para a locomoção da embarcação.

A proposta deste é identificar as principais características necessárias para a criação de tal veículo, bem como desenvolver e apresentar mecanismos funcionais capazes de suprir as necessidades encontradas.

O desenvolvimento de tal veículo foi baseado em dois importantes fatores: funcionalidade dos sistemas e facilidade de construção. Devido ao alto custo de algumas peças, tais como amortecedores e freios dianteiros a disco, simplificou-se, ao máximo, alguns sistemas, a fim de se construir um protótipo em escala real para que fosse possível a análise do conceito criado. A partir deste “protótipo conceito”, poder-se-á realizar pequenas melhorias de projeto para que o veículo venha a ter uma evolução tecnológica.

O veículo foi desenvolvido utilizando-se alguns conceitos já existentes em outros veículos, tal como a bicicleta convencional, porém possui como maior inovação o sistema de direção, lançando um novo conceito de dirigibilidade.

2 ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

- Devido à crescente preocupação da população com a saúde e qualidade de vida, percebe-se que, atualmente, há uma grande demanda por produtos voltados ao condicionamento físico ou à prática de esportes;
- Verifica-se que muitos destes produtos são concebidos para a utilização em ambientes fechados, como academias de ginástica, clubes ou residências, o que pode ocasionar monotonia, uma vez que muitas pessoas sentem a necessidade de mudar de ambiente ou de praticar esportes ao ar livre;
- A bicicleta, que é utilizada como meio de transporte, objeto de condicionamento físico e de esportes de competição, como ciclismo, “bicicross”, “mountain bike”, é concebida de forma a exercitar, exclusivamente, os membros inferiores do corpo humano;
- O remo é um esporte mais completo que o ciclismo, pois, além de exercitar os membros inferiores, exercita, também, diversos outros grupos musculares.
- A prática do remo não é difundida em regiões como a grande São Paulo por não haver rias ou lagoas em número e qualidade adequadas, além do fato do barco, na maioria das vezes, ter de ser guardado em galpões ou garagens anexas aos locais de sua prática, elevando-se, desta maneira, ainda mais o custo da prática deste esporte;

3 PRINCIPAIS REQUISITOS

3.1 Funcionais

- **Desempenho** – o movimento executado pelo usuário deve ser semelhante ao executado por um remador em um barco de competição, de parlamenta dupla;
- **Esforço do Usuário** – o usuário não deve dispensar esforços elevados para acionar itens básicos do veículo, tais como direção, sistema de freios, entre outros;
- **Mobilidade** – o veículo deve percorrer trajetórias curvilíneas com raio mínimo de 4 (quatro) metros, em baixas velocidades;
- **Inclinação** – o veículo deve ser capaz de suplantar aclives leves (5% de inclinação);
- **Segurança** – o veículo deve ser capaz de parar completamente deslocando-se, no máximo, 10 (dez) metros em terreno plano, quando em velocidade máxima;
- **Segurança do Piloto** – o veículo não deve possuir partes móveis ou do chassi capazes de ferir o piloto em condições normais de uso.

3.2 Construtivas

- **Capacidade** – o veículo deve ser capaz de comportar um indivíduo de massa até 120 kg e altura entre 1m50 e 1m85;
- **Massa do Veículo** – não deve ultrapassar 40kg;
- **Dimensões** – o veículo não deve ultrapassar as dimensões máximas de um paralelepípedo 2,5m de comprimento, 1,5m de largura e 1m de altura.

3.3 Econômicas

- O custo de construção do veículo deve ser inferior a R\$800,00.

4 PROJETO

Este projeto será subdividido em três diferentes sistemas a fim de facilitar a compreensão de cada um deles individualmente e, mais adiante, entender seu funcionamento como parte do veículo em um todo. Os sistemas são, então, subdivididos em:

- Sistema Estrutural
- Sistema de Transmissão de Potência
- Sistema de Direção
- Outros Sistemas
 - Frenagem
 - Banco

É importante, aqui, ressaltar que o projeto foi desenvolvido baseado no conceito de utilização do maior número possível de peças já existentes no mercado. Por isso, verificar-se-á que muitas delas serão semelhantes às peças de bicicletas convencionais.

Para se ter uma visão inicial do projeto, optou-se por mostrar, primeiramente, seu desenho de conjunto a fim de facilitar o entendimento e a localização dos diferentes sistemas (figura 1a). Observe que cada sistema será identificado por uma cor e, como dito anteriormente, serão analisados com mais detalhes separadamente.

Seguem abaixo vistas gerais do veículo:

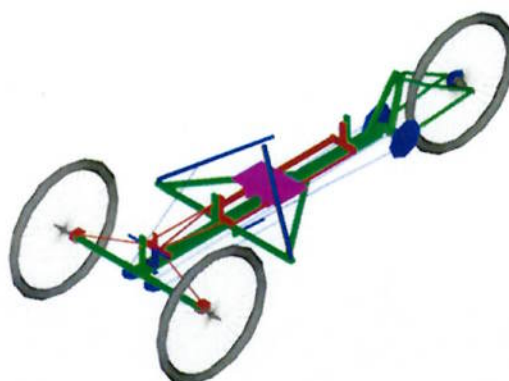


Figura 1a - Vista Geral do Veículo

Legenda – Figura 1a




-  Sistema Estrutural
-  Sistema de Transmissão de Potência
-  Sistema de Direção



Figura 1b - Vista Geral do Protótipo



Figura 1c - Vista lateral do Protótipo



Figura 1d - Vista frontal do Protótipo

4.1 Sistema Estrutural

A estrutura principal do veículo é composta por duas vigas paralelas entre si, dispostas no sentido longitudinal do veículo. Sobre esta estrutura estão fixados todos os demais sistemas do veículo, bem como outros componentes estruturais necessários (Figura 2)

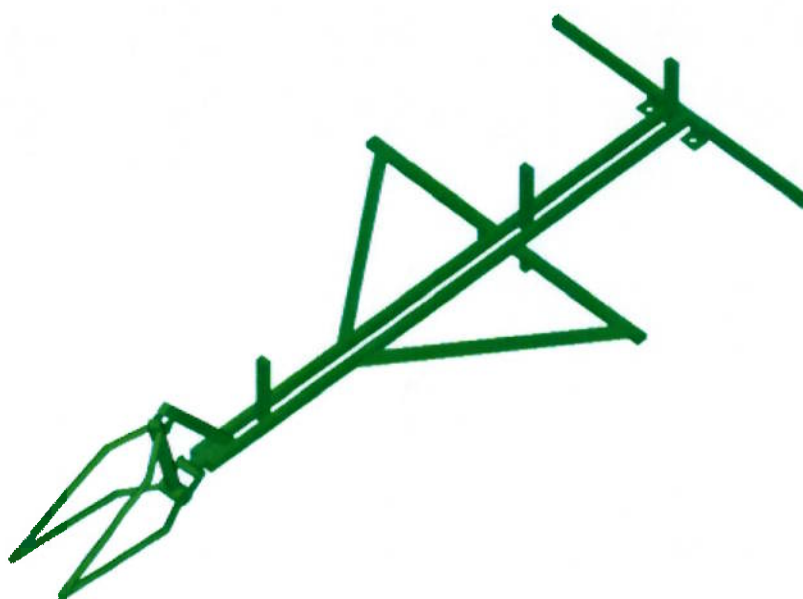


Figura 2 – Estrutura do Veículo

As duas barras são idênticas, de aço ABNT 1020 e possuem secção retangular de 30 x 20 mm, com parede de espessura 1,5mm e comprimento de 1520mm (figura 3 – A).

Na parte frontal está fixada uma barra transversal, que serve de apoio às duas rodas dianteiras. Esta barra possui, exatamente, a mesma secção transversal das vigas principais, porém seu comprimento é de 1000mm (figura 3 – B).

Em anexo à estrutura principal há dois conjuntos coplanares, soldados na lateral da estrutura, cuja função principal é dar apoio às alavancas de remo. Cada conjunto é composto por duas barras de secção retangular (30 x 20 x 1,5 mm), soldadas entre si, onde uma barra é perpendicular à estrutura principal e a outra forma um ângulo de 45° graus entre elas (figura 3 - C).

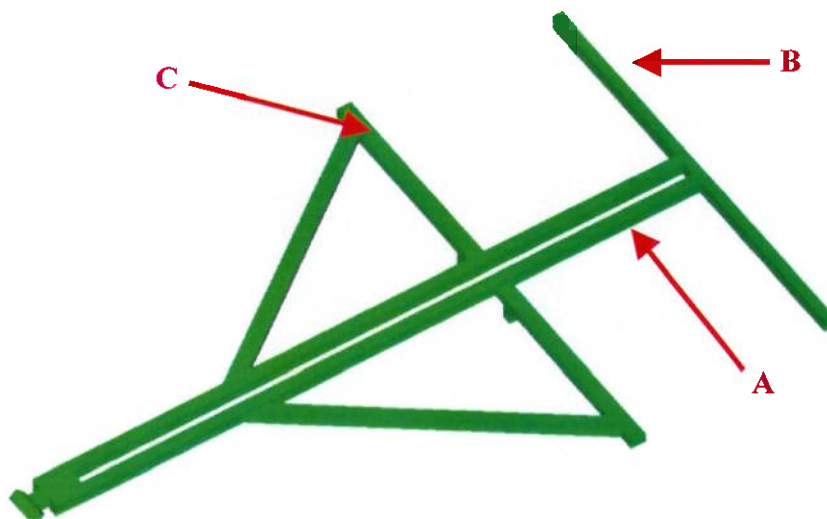


Figura 3 – Estrutura Principal e Anexos

A estrutura traseira é uma adaptação de uma balança de suspensão traseira de uma bicicleta do tipo “Mountain Bike”. Optou-se pela utilização desta estrutura para que, com isso, seja possível a utilização dos sistemas de tração e de frenagem da roda traseira de bicicletas convencionais. É importante ressaltar que a utilização deste tipo de balança traseira foi escolhida pela facilidade de adaptação de seus pontos de fixação na estrutura do veículo.

Escolheu-se para este projeto a balança traseira da bicicleta da marca *Sundown* (figura 4a) por atender aos requisitos apresentados neste projeto. Esta balança é dotada de dois pontos de fixação, um na parte superior e outro na parte inferior.

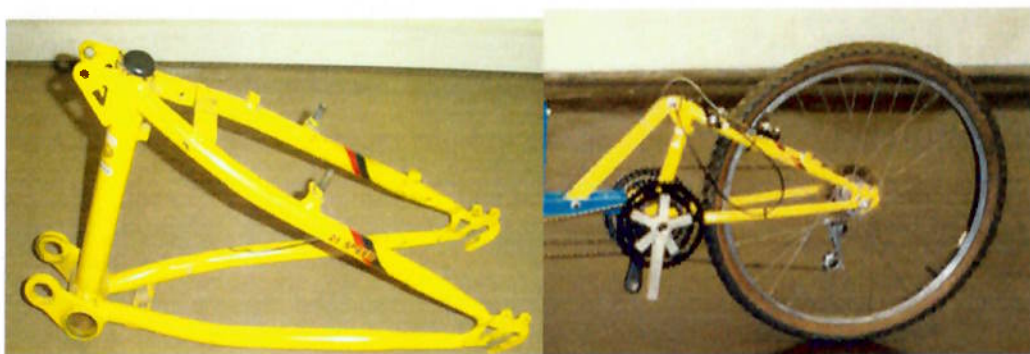


Figura 4a - Estrutura Traseira – Bicicleta *Sundown*

Na parte inferior, a fixação é feita por um conjunto (figura 4b - A) composto de dois apoios (figura 5a), centrados por porca e parafuso (figura 5b), os quais serão unidos à balança, circundados por uma bucha soldada à estrutura principal. Tal configuração permite que haja uma rotação da balança traseira em deste apoio.

Na parte superior (figura 4b – B), a fixação na estrutura principal é feita a partir de uma barra rígida de secção semelhante à utilizada na estrutura (aço ABNT 1020,30x20x1,5), presa por porca e parafuso (figura 4b - C). Esta barra permite a regulação da altura da balança traseira, o que possibilita, de acordo com o conforto requerido, inclinar a estrutura principal com ângulos positivos e negativos. É importante ressaltar que esta barra pode facilmente ser substituída por um amortecedor.

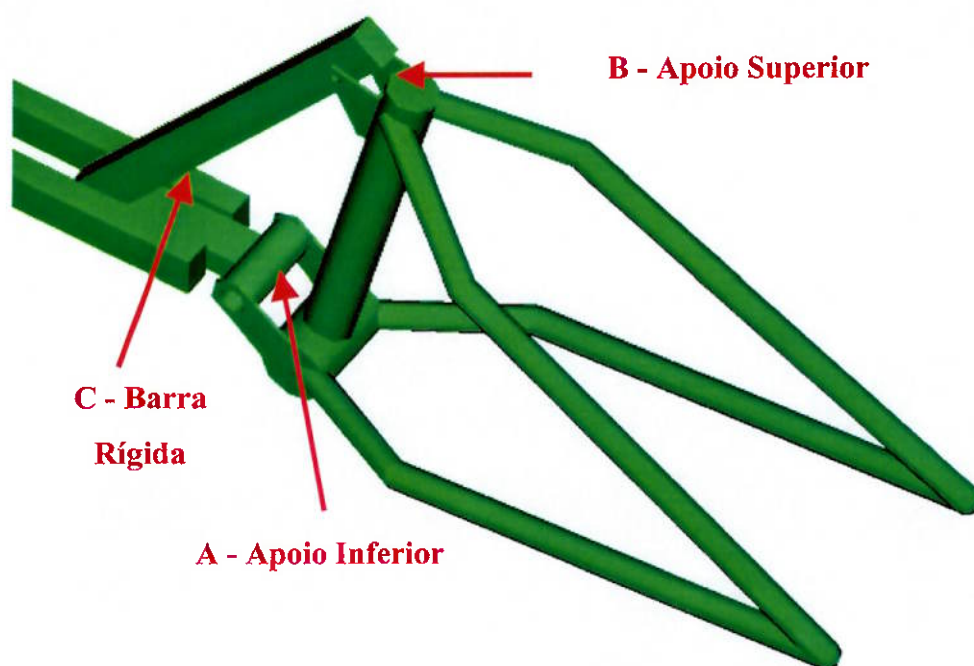


Figura 4b - Estrutura Traseira CAD

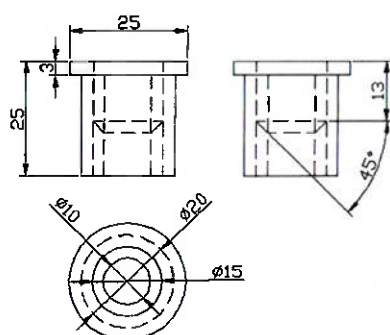


Figura 5a – Desenho de conjunto do apoio inferior

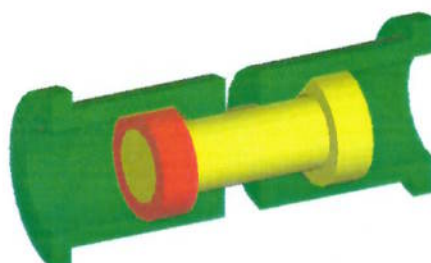


Figura 5b – Representação do apoio inferior, porca e parafuso

4.2 Sistema de Transmissão De Potência

4.2.1 Movimento da Remada em um Barco a Remo:

O remador está posicionado no barco com as costas para onde o barco está se deslocando (proa do barco), sentado sobre um assento com rodas (carrinho) que se movimenta sobre um trilho, permitindo, assim, o movimento de pernas. Os pés do remador estão fixos em uma pedaleira. O deslocamento é obtido através de uma sequência de movimentos que começa com a colocação do remo na água e termina quando o remo sai da água. A potência da remada é obtida pelo movimento de pernas, costas e braços do remador. Cada remo é conectado ao barco através de um anel em forma de U, chamado forqueta ou tolete, que fica na ponta de uma braçadeira presa à borda do barco.

O ciclo da remada pode ser dividido em fases. Iniciando com o remador com as pernas estendidas e a(s) pá(s) do remo imersa na água em posição perpendicular à superfície da água, têm-se as fases a seguir:

- Afastamento (release): movimento rápido da mão do remador para baixo visando remover o remo da água e iniciar mais um ciclo da remada;
- Molinete (feathering): o ato de virar a pá de uma posição perpendicular para uma posição paralela à água;
- Recuperação (recovery): parte do ciclo da remada que vai do afastamento até o ponto em que os remos estão prestes a entrar na água;
- Preparação (squaring): giro gradual da pá do remo de uma posição paralela à superfície da água até uma posição perpendicular que ocorre dentro da recuperação e precede a pegada;

- Pegada (catch): ponto do ciclo da remada no qual a pá entra na água no final da recuperação, sendo executado apenas por um movimento dos braços para cima;
- Empurrada (drive): parte do ciclo da remada no qual o remador aplica força ao remo, primeiro através das pernas, seguidas pelo tronco e, finalmente, pelos braços;
- Final (finish): parte final da empurrada, antes do afastamento, na qual a força é aplicada, principalmente, pelo tronco e braços;
- Inclinação (layback): inclinação do corpo do remador para concluir o final. Após a inclinação vem, novamente, a liberação e o ciclo da remada recomeça.

Em uma competição os barcos atingem um ritmo (voga) de até 40 remadas por minuto (Fonte: Site oficial da federação de Remo do Estado do Rio de Janeiro – <http://www.frerj.com.br>).

4.2.2 Movimento da Remada no Veículo:

No movimento de remada do veículo terrestre de propulsão a remo, o condutor posiciona-se de frente para onde o protótipo está se deslocando, ao contrário do que acontece em um barco a remo convencional, no qual o condutor se posiciona de costas para o movimento.

O condutor senta-se sobre um assento com rodas, que possui movimento longitudinal em relação ao veículo e é guiado por trilhos (figura 6a e 6b).

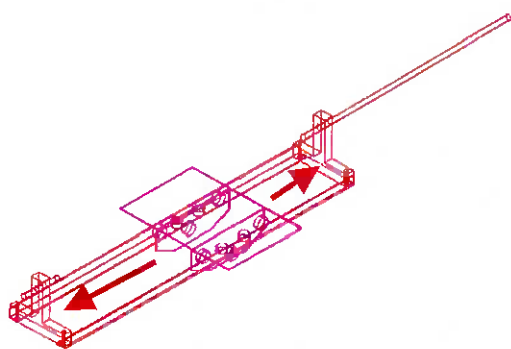


Figura 6a – Trilho e Assento

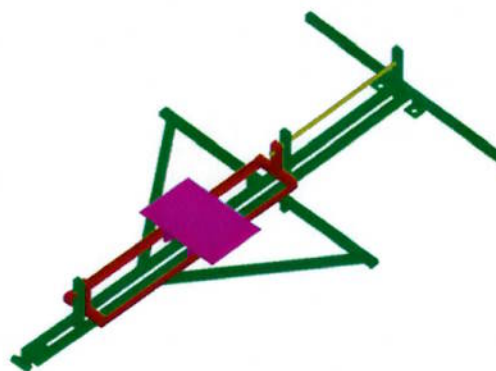


Figura 6b – Trilho e Assento Posicionados na Estrutura

Esse deslocamento, na direção do trilho, permite, dessa maneira, o movimento de pernas característico do movimento da remada. Os pés do condutor fixam-se em uma pedaleira a qual é fixa na parte frontal da estrutura (figura 7).



Figura 7 detalhe da Pedaleira

A fixação da pedaleira foi feita a partir de duas peças parafusadas entre si prensando a estrutura entre estas. Foi utilizado um par de pedais de bicicletas convencionais, com tiras de fixação, para apoio e fixação dos pés do condutor.

O deslocamento é obtido através de uma seqüência de movimentos que começa com as pernas flexionadas, os braços estendidos e com o assento localizado na parte frontal do trilho (figura 8a), terminando com as pernas estendidas, os braços flexionados e com o assento localizado na parte traseira do trilho (figura 8b). A potência da remada é obtida pelo movimento de pernas, costas e braços do condutor.



Figura 8a – Início do movimento de remada



Figura 8a – Término do movimento de remada

Com isso, obteve-se, aqui, um movimento próximo ao movimento da remada convencional. Vale salientar que o objetivo deste projeto é buscar a fidedignidade do modelo de remada em um barco a remo, como descrito anteriormente. Porém algumas fases não são pertinentes à nova situação como, por exemplo, as fases em que há movimentação do remo fora da água.

O ciclo de remada do veículo desenvolvido está, portanto, dividido nas seguintes fases:

- **Recuperação (recovery):** parte do ciclo da remada que vai do momento em que as pernas estão, totalmente, esticadas, até o ponto em que se iniciará a tração do movimento;

- Empurrada (drive): parte do ciclo da remada no qual o remador aplica força ao remo, primeiro através das pernas, seguidas pelo tronco e, finalmente, pelos braços;
- Final (finish): parte final da empurrada, antes do afastamento, na qual a força é aplicada, principalmente, pelo tronco e braços;
- Inclinação (layback): inclinação do corpo do remador para concluir o final. Após a inclinação vem, novamente, a recuperação e o ciclo da remada recomeça.

4.2.3 Descrição do sistema

Inicia-se a descrição do sistema de transmissão de potência através de um modelo esquemático como o observado abaixo na figura 9. Tal descrição iniciar-se-á a partir dos remos finalizando-se na rotação da roda traseira.

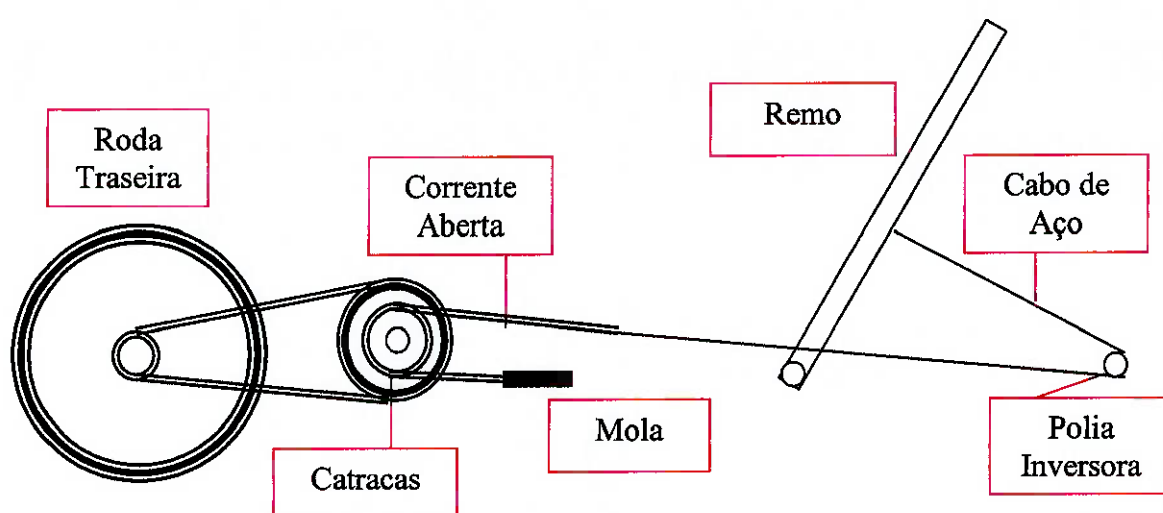


Figura 9 – Esquema de Transmissão de Potência



Figura 9a – Vista em detalhe do Sistema de Tração

A partir da movimentação dos remos, obtida pela movimentação do condutor como descrito anteriormente, o torque é transmitido através de dois cabos de aço de $\phi 5\text{mm}$, fixos na parte frontal dos remos, acompanhando seu movimento. Cada cabo passa, então, por uma roldana fixada na parte frontal da estrutura principal do veículo (figura 10), prolongado-se até cerca de 30 centímetros da coroa intermediária como representado na figura 9. Obrigatoriamente, nesta posição o cabo deve estar paralelo à estrutura e alinhado à coroa.

Observa-se, aqui, que a direção que os cabos saem dos remos não é conveniente, o que leva a uma necessidade de mudança de direção desses cabos. Sendo assim, a roldana frontal tem como objetivos inverter o sentido de tração dos cabos, além de alinhá-los de forma conveniente. Para tanto, ela deve ser posicionada de forma inclinada em relação à estrutura, como pode ser visto na figura abaixo.

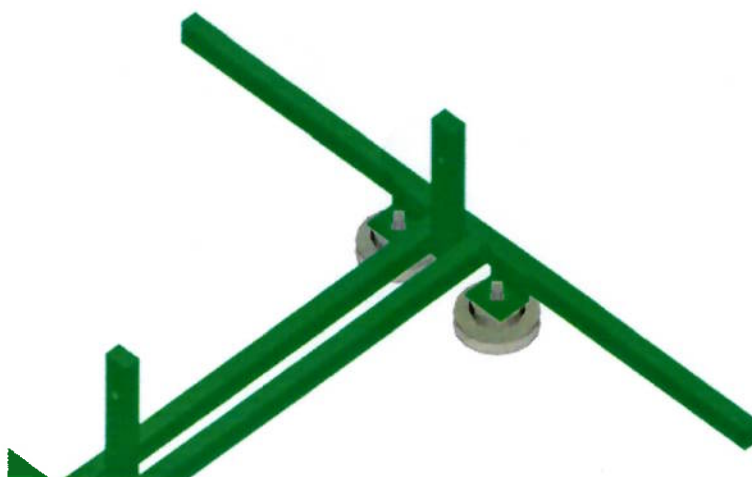


Figura 10 – Detalhe da roldana frontal

Alinhando-se os cabos à coroa, pode-se, então, uni-los a uma corrente, a qual é semelhante à de uma bicicleta convencional, porém aberta. Essas correntes são apoiadas na parte superior das coroas, as quais estão fixas no eixo intermediário. A outra extremidade da corrente é fixada em uma mola de retorno, fixa na estrutura principal como exemplificado na figura 11. Essa mola, chamada mola de retorno, tem como função facilitar o movimento de retorno dos remos. Esse

movimento deve ser espontâneo e, portanto, através da energia potencial armazenada na mola é possível realizá-lo sem que haja a necessidade de esforço do condutor. É importante salientar que a escolha da mola é essencial, uma vez que a constante elástica da mola deve facilitar o retorno dos remos sem dificultar muito o movimento de torque da remada.

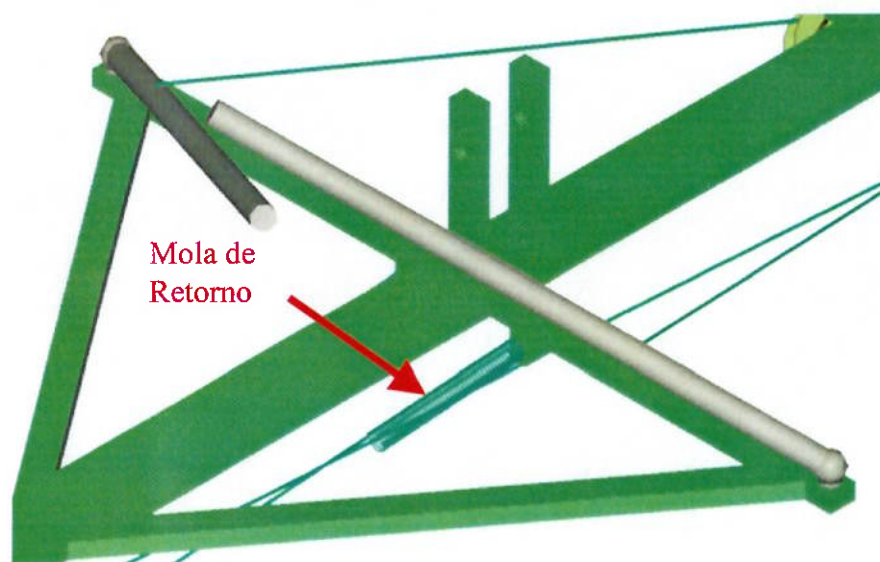


Figura 11 – Detalhe – Posição da Mola de Retorno

O motivo pelo qual a corrente deve ser apoiada na parte superior da coroa do eixo intermediário é possibilitar que esta tenha um sentido de rotação conveniente para que o veículo se desloque para frente.

Observa-se, como dito anteriormente, que a estrutura traseira do veículo é semelhante à parte traseira de uma bicicleta convencional com suspensão. Desta maneira utiliza-se como eixo intermediário o movimento central de uma bicicleta, modelo 34,7, no qual são fixados dois conjuntos semelhantes de pé-de-vela/catraca, com três catracas de 28/38/48 dentes (figura 12).



Figura 12 – Detalhe do movimento central e parte traseira

Essa configuração possibilita que a transmissão entre eixo intermediário e roda traseira do protótipo seja idêntico ao da bicicleta. A única diferença entre os sistemas será em relação ao torque, que ao invés de ser exercido pelos pedais, será transmitido pela coroa menor, de 28 dentes, a partir de um sistema de cabo/corrente, como o descrito acima. Com isso, é possível obter uma relação de marchas semelhante aos de bicicletas comuns de modo que a condução do veículo seja facilitada para diferentes níveis de dificuldade e de esforço do condutor. O estudo feito para relacionar torque, velocidade e relação entre as marchas será analisado posteriormente no item Análise Dinâmica.

4.3 Sistema de Direção

Um dos grandes desafios deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de direção adequado às suas necessidades, pelo fato de que, no sistema de tração do veículo, o condutor utiliza-se tanto dos membros superiores (braços) como dos inferiores (pernas). No caso dos barcos a remo, não há necessidade, durante a execução do movimento de remada, de mudar a direção do barco.

Sempre com o intuito de minimizar a interferência entre os acionamentos dos sistemas de tração e direção, foi idealizada uma forma inovadora para utilização do sistema de direção, que não necessitasse diretamente da utilização dos membros empregados no sistema de tração: a inclinação do condutor.

Como nos barcos a remo, o banco do veículo tem liberdade para se deslocar no sentido longitudinal, sendo apoiado sobre um trilho. Tal trilho é composto por duas barras paralelas em “L” de lados 25 mm, comprimento 800mm e espessura 3mm. Estas barras serão fixadas na estrutura, através de um sistema desenvolvido para aumentar a estabilidade do condutor. Esta estabilidade ocorre pelo fato do centro de gravidade do condutor estar abaixo (ou muito próximo) do eixo de rotação do trilho. A figura abaixo (figura 13) representa o sistema de direção do veículo, sendo que suas diferentes partes são diferenciadas por cores.

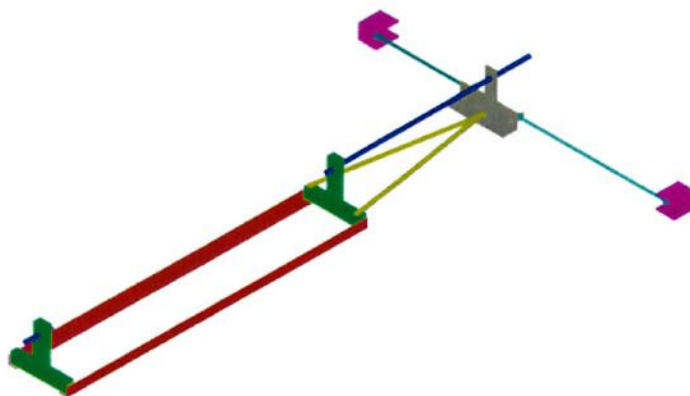


Figura 13 – Sistema de direção

O sistema de apoio do trilho é constituído por duas peças em forma de “T” invertido (Figura 13 – peças em verde), apoiadas em eixos (figura 13 – Peças em azul escuro) apoiados em mancais de rolamento que permitem apenas sua rotação e sustentados por barras verticais, soldadas na estrutura. As barras que compõem o trilho (Figura 13 – peças em vermelho) são parafusadas nos extremos da parte horizontal do “T” (parte inferior) e o eixo de apoio é fixado no extremo da parte vertical do “T” (parte superior). A parte vertical da peça em “T” pode ser perfurada em várias alturas, possibilitando a fixação do eixo de rotação em diferentes posições, variando assim a estabilidade do sistema de acordo com a necessidade e comodidade do condutor.

A rotação do banco sobre os eixos e, conseqüentemente, do trilho e das peças em “T”, provoca através dos tirantes (Figura 13 – peças em amarelo), os quais formam uma treliça, a rotação de uma outra peça em “T” (Figura 13 – peça em, cinza). Abaixo pode ser observado detalhe desse sistema de direção esquematicamente e no protótipo construído (Figuras 14a e 14b).

Nesta peça são fixadas, por meio de parafusos, duas barras de direção (Figura 13 – Peças em azul-claro). A partir do deslocamento angular desta peça, essas barras de direção sofrem um deslocamento linear na direção transversal em relação ao veículo. Tal deslocamento é transmitido à roda a partir de uma “manga” de fixação (Figura 13 – Peças em rosa) que provoca a rotação das rodas. Esta “manga” é composta por uma chapa com perfil em “U” cujas dimensões e formatos podem ser observados na figura abaixo (figura 15).

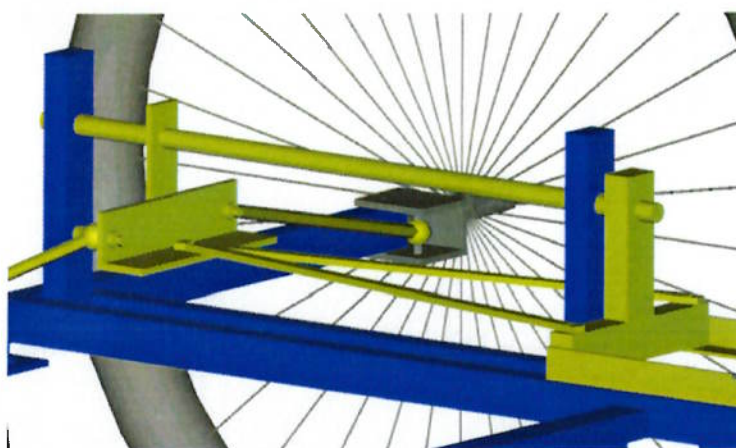


Figura 14a – Detalhe sistema de direção (CAD)



Figura 14b – Detalhe sistema de direção (Protótipo)

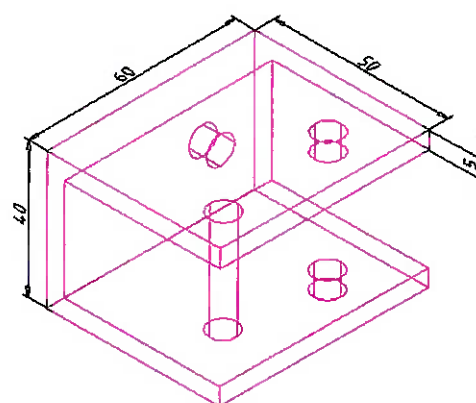


Figura 15 – Manga da Roda Dianteira

Seguem abaixo fotos seqüenciais do condutor acionando o sistema (figura 16a) e foto do protótipo com o sistema acionado (figura 16b)



Figura 16a – condutor acionando o sistema se direção



Figura 16b – Sistema de direção acionado

4.3.1 Cálculo das dimensões do sistema

Após a determinação do princípio utilizado na direção do veículo, discutiu-se sobre os principais pontos deste sistema para estabelecer suas dimensões de forma que este atenda às necessidades do projeto. Para tanto, verificou-se que o ponto chave para o funcionamento deste sistema envolveria a relação entre a inclinação executada pelo condutor no acionamento do sistema de direção e a curva traçada pelo veículo.

No sistema desenvolvido, tem-se que a curva traçada é determinada pela rotação da manga, resultado do movimento da barra de direção causado pela rotação da fixação desta no triângulo da direção. Sendo assim, a relação entre a rotação do assento (gerada pelo condutor) e a curva traçada pelo veículo pode ser calculada a partir da relação entre o raio de fixação da barra de direção no triângulo e a distância entre a fixação da barra de direção na manga e seu eixo de rotação. Para obter tal relação, foi necessário estimar, primeiramente, a angulação da roda necessária para que o veículo executasse a curva requerida, para posteriormente compará-la com a rotação máxima do eixo de direção obtida.

4.3.1.1 Cálculo da rotação máxima do eixo de direção

Foi verificado experimentalmente, a partir de modelo construído em tamanho natural (Figura 17), que o ângulo máximo de rotação para o banco do condutor seria fixado em 13° , pois foi constatado, por meio de testes práticos, que esta inclinação seria o ângulo máximo no qual o condutor tem um bom equilíbrio e conforto.



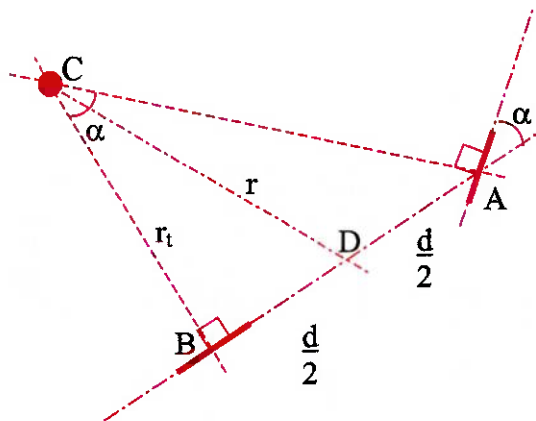
Figura 17 – Modelo em Tamanho Natural do Acionamento do Sistema de Direção

4.3.1.2 Cálculo do ângulo da roda dianteira a partir do raio da curva:

Através de pesquisa literal, (Fonte: Universidade de Tampere - http://www.tut.fi/plastics/tyreschool/moduulit/moduuli_10/hypertext/5/5_1.html), foi verificado que os modelos que descrevem tal sistema são complexos e os resultados obtidos são de natureza dinâmica, além de abranger grandezas mecânicas difíceis de serem estimadas de forma precisa no veículo, tais como seu Momento de Inércia e Centro de Gravidade.

Foi então desenvolvido um modelo simplificado, onde se priorizou a relação direta entre o ângulo de rotação da roda dianteira e o raio da curva traçado pelo veículo, baseado em um sistema de duas rodas (Figura 18), onde a roda traseira (no ponto B) permanece alinhada com o eixo longitudinal do veículo (reta AB) e a roda dianteira (no ponto A) tem liberdade de rotação.

Ao girar a roda dianteira, considerou-se como centro de rotação do conjunto (ponto C) a intersecção entre as retas perpendiculares ao eixo longitudinal de cada roda (retas AC e BC). O raio de curvatura é, então, dado pela distância



d = distância entre eixos;
 α = ângulo de rotação da roda;
 r = raio de rotação do centro geométrico;
 r_t = raio de rotação da roda traseira;
 A – centro da roda dianteira;
 B – centro da roda traseira;
 C – centro de rotação;
 D – dentro geométrico do veículo

Figura 18 – Modelo para análise do raio de curvatura.

compreendida entre o centro geométrico do veículo (ponto D) e o centro de rotação do conjunto (ponto C).

Podemos, a partir deste modelo físico, relacionar as variáveis a partir das seguintes expressões:

Do triângulo ABC, pode-se afirmar que:

$$d / r_t = \operatorname{tg}(\alpha) \quad (1)$$

de (1) temos,

$$r_t = d \cdot \cotg(\alpha) \quad (2)$$

e, a partir do triângulo BCD,

$$r^2 = r_t^2 + d^2 / 4 \quad (3)$$

substituindo-se (2) em (3), chegamos a seguinte expressão:

$$r^2 = d^2 \cdot (\cotg^2(\alpha) + 1/4) \quad (4)$$

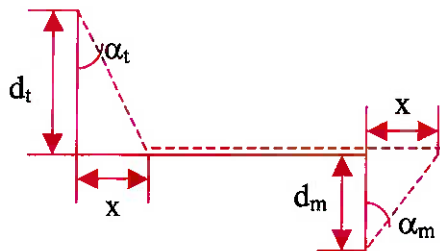
portanto, simplificando a expressão (4), temos que o ângulo α pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$\alpha = \arctg \left(\left((r/d)^2 - 1/4 \right)^{1/2} \right) \quad (5)$$

Para o protótipo desenvolvido, temos que o raio de curvatura desejado é de 5 metros e que a distância entre eixos é de 2 metros. Teremos então, a partir da fórmula (5), que o ângulo de rotação da roda será de 22° .

4.3.1.3 Comparação entre os ângulos:

Para relacionar os ângulos acima calculados, considerou-se que os ângulos de rotação das peças (α_t e α_m) e de inclinação da barra de direção são pequenos, o que permite considerar que o deslocamento dos braços (x) é o mesmo para as duas pontas. Sendo assim, pode-se esquematizar o modelo da seguinte forma:



Onde:

x = deslocamento da barra de direção;

d_t = raio do triângulo;

d_m = raio da manga;

α_t = ângulo de rotação – Triângulo;

α_m = ângulo de rotação – Manga;

Tem-se, a partir da figura, que:

$$x / d_t = \text{tg}(\alpha_t) \quad (6)$$

$$x / d_m = \text{tg}(\alpha_m) \quad (7)$$

isolando-se o deslocamento x nas eq.(6) e (7), teremos:

$$x = \text{tg}(\alpha_t) \cdot d_t \quad (8)$$

$$x = \text{tg}(\alpha_m) \cdot d_m \quad (9)$$

igualando-se as funções (8) e (9), chega-se a:

$$\operatorname{tg}(\alpha_t) \cdot d_t = \operatorname{tg}(\alpha_m) \cdot d_m \quad (10)$$

Assim, simplificando a eq.(10), tem-se que a relação entre o tamanho dos raios é:

$$d_t / d_m = \operatorname{tg}(\alpha_m) / \operatorname{tg}(\alpha_t) \quad (11)$$

Substituindo-se os valores dos ângulos, calculados anteriormente, tem-se que:

$$d_t / d_m = 1,75$$

A partir da relação acima calculada, pode-se determinar os comprimentos de forma conveniente para facilitar a construção do veículo.

4.4 Outros Sistemas

4.4.1 Banco

O banco é constituído de duas barras em “L” independentes de dimensões 25,4mm de lados por 6mm de espessura e 20mm de comprimento. São fixados a essas barras 8 (oito) rolamentos, quatro em cada, através de porca e parafuso.

Para cada barra em “L” existem 2 (dois) rolamentos cujos eixos encontram-se perpendiculares ao eixo longitudinal do veículo e na direção horizontal, os quais permitem o deslocamento longitudinal do banco. Os outros 2 (dois) rolamentos encontram-se fixados perpendicularmente ao eixo longitudinal do veículo e na direção vertical. Esses rolamentos são necessários para que não haja um deslocamento lateral do banco em relação ao trilho.

As duas estruturas independentes são fixadas em uma chapa de dimensões 30x20x2mm e sobre essa chapa fixa-se um acento de espuma (EVA). Abaixo pode-se verificar o protótipo deste banco em escala natural (Figura 19).

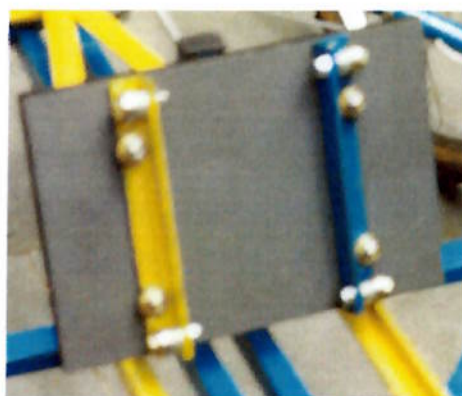


Figura 19 – Detalhe da parte inferior do banco

4.4.2 Sistema De Frenagem

O sistema de frenagem utilizado será semelhante ao sistema de bicicletas convencionais, com acionamento manual onde os manetes estão fixos nos remos.

Neste projeto, o freio atuará apenas na roda traseira, de forma idêntica ao sistema convencional. Já nas rodas dianteira, poderia ser utilizado um sistema de freios a disco próprio para bicicletas, porém seu preço é muito elevado e sua aplicação não é determinante para a proposta do projeto.

Como o sistema é idêntico ao de bicicletas convencionais, inclusive sua fixação, não serão feitas análises mais aprofundadas de tal sistema.

5 ANÁLISE DINÂMICA

Com o intuito de verificar matematicamente o desempenho do veículo, além de adequar suas condições construtivas às necessidades estabelecidas no projeto, foi desenvolvida uma planilha de cálculos, cujas entradas são os dados construtivos, forças e massas envolvidas, e suas saídas os tempos de remada e acelerações resultantes, onde a velocidade do veículo é traçada em função do tempo.

Além de possibilitar a análise mais precisa destes dados, seu desenvolvimento permitiu que algumas características construtivas pudessem ser precisamente definidas, sendo determinante para, por exemplo, a determinação da fixação do cabo de aço na alavanca de remo.

5.1 Dados de entrada

Os dados de entrada foram divididos em duas tabelas diferentes: dados construtivos, que envolvem as características de construção do veículo, e dados variáveis, que dependem do condutor e de condições externas. Os dados construtivos envolvem as características construtivas do veículo que são relevantes para a análise dinâmica do veículo. São estas:

- Comprimento da alavanca de remo (“Alavanca” – em metro);
- Distância entre o ponto de fixação do remo e do cabo de tração (“Fixação cabo” – em metro);
- Relação entre número de dentes e diâmetro das engrenagens (“dentes/diam.”);
- Arco de rotação da alavanca de remo (“Desloc. Angular” – em graus);
- Diâmetro da roda utilizada (“Roda” – em polegada e metro);
- Massa do carro (“Massa carro” – em quilograma);

Abaixo segue tabela com os dados construtivos utilizada na planilha.

Tabela 1 : Relações Construtivas

Relações construtivas	
Alavanca (m)	0,60
Fixação Cabo (m)	0,20
dentes/diam.	0,00417
Desloc. Angular (°)	120
Roda (pol.)	26,00
(m)	0,65
Massa Carro (Kg)	40

Foi também montada uma tabela contendo a relação de catracas e coroas do veículo, permitido que elas sejam trocadas nas simulações de velocidade. Abaixo é possível visualizar tal relação:

Tabela 2 : Relações Coroa/Catraca

	dentes	diam.
Coroa	28	0,12
	38	0,16
	48	0,20
Catraca	28	0,12
	24	0,10
	21	0,09
	18	0,08
	16	0,07
	14	0,06

A tabela de dados variáveis contém todos os dados de entrada que podem variar nas simulações, permitindo uma análise aprofundada do veículo com as características construtivas definidas. Tais características são:

- Força aplicada pelo condutor na alavanca de remo (“Força” – em Newton)
- Tempo de retorno do condutor entre duas remadas (“Tempo Recovery” – em segundos);
- Massa do condutor (“Massa condutor” – em quilograma)
- Relação de marchas;
- Perda de velocidade durante o tempo de recovery (“Eficiência” – em porcentagem)

Abaixo segue tabela como exemplo dos dados de entrada:

Tabela 3 : Relações Variáveis

Dados Variáveis	
Força (N)	400,0
Tempo recovery (s)	1,50
Massa Condutor (Kg)	70,0
Relação de Marchas	
Coroa (1;2)	2
Catraca (1;2;3;4;5;6)	6
Perda de velocidade	
Eficiência	98%

Tais características foram assim determinadas para simular, de forma simplificada, as características do movimento que será traçado pelo veículo.

Na entrada de dados referente à relação de marchas simula-se em qual coroa, ou catraca, a corrente está no momento da execução do movimento. A coroa varia entre os números 1 e 2, e a catraca entre 1 e 6, correspondendo, respectivamente às engrenagens de 38 e 48 dentes (na coroa) e às de 28, 24, 21, 18, 16 e 14 dentes (na catraca). Os dados de saída referem-se a uma relação de marchas fixa.

A entrada referente à “eficiência” na perda de velocidade, simula a perda de energia do sistema através das forças dissipativas, entre elas o atrito com o solo e a resistência do ar. Ela determina que a velocidade do veículo durante o movimento de “recovery” sofre uma redução de uma determinada porcentagem em relação à velocidade no início do movimento.

5.2 Dados de saída

As saídas desejadas desta simulação são as velocidades e tempos envolvidos durante a aceleração do veículo. Para tanto, fez-se, primeiramente, uma tabela que relaciona, a partir dos dados de entrada definidos, os esforços resultantes na roda de tração. Abaixo segue exemplo de tal tabela:

Tabela 4 : Demonstração de Esforços

	Alavanca de Remo		Eixo Intermediário		Eixo Final	
	Condutor	Fixação Cabo	Coroa 28 dentes	Coroa Tração	Catraca	Roda
Força (N)	400,00	1.200,00	1.200,00	700,00	700,00	62,82
Braço (m)	0,600	0,200	0,058	0,100	0,029	0,325
Torque (N.m)	240,00	240,00	70,00	70,00	20,42	20,42
Desloc. Angular (°)	120	120	411	411	1.411	1.411

A partir desta força resultante na roda, pode-se determinar o tempo de remada e a aceleração do conjunto. Como a velocidade inicial de cada remada é diferente, e isso influi no cálculo das grandezas, foi montada uma tabela (Tabela 5) que calcula as velocidades inicial e final para cada remada (em laranja), incluindo também a variação de velocidade durante o tempo de “recovery” (em verde). Para a simulação, fez-se o cálculo a partir de vinte remadas.

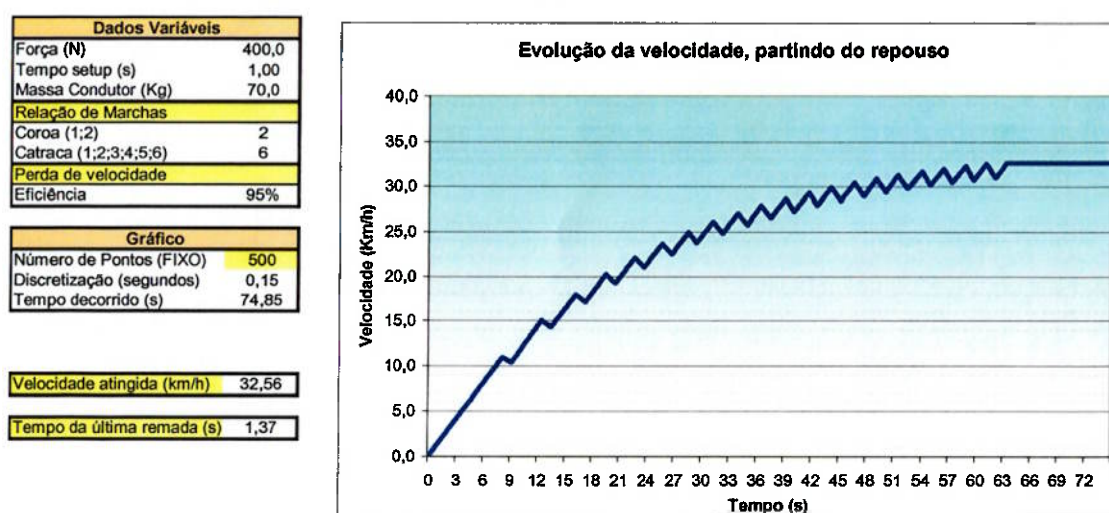
Tabela 5 : Representação das velocidades e tempos de remada dos 5 primeiros movimentos de remada

	Tempo	Velocidade Inicial (m/s)	Velocidade Final (m/s)	Tempo de remada (s)
1	0,00	0,00	3,02	5,29
2	5,29	3,02	2,96	
3	6,79	2,96	4,23	2,22
4	9,02	4,23	4,15	
5	10,52	4,15	5,13	1,72
6	12,24	5,13	5,03	
7	13,74	5,03	5,87	1,47
8	15,21	5,87	5,75	
9	16,71	5,75	6,50	1,31
10	18,02	6,50	6,37	

A partir desta tabela, foi traçado um gráfico de Velocidade x Tempo (gráfico 1), possibilitando a comparação entre diferentes forças aplicadas e relações de marcha.

Ao final das vinte remadas, verifica-se que a velocidade tende a uma constante, produto do equilíbrio entre a força da remada e a perda de velocidade por forças dissipativas. A simulação traz, além do gráfico, a velocidade máxima atingida e o último tempo de remada, que permite analisar a possibilidade da execução do movimento.

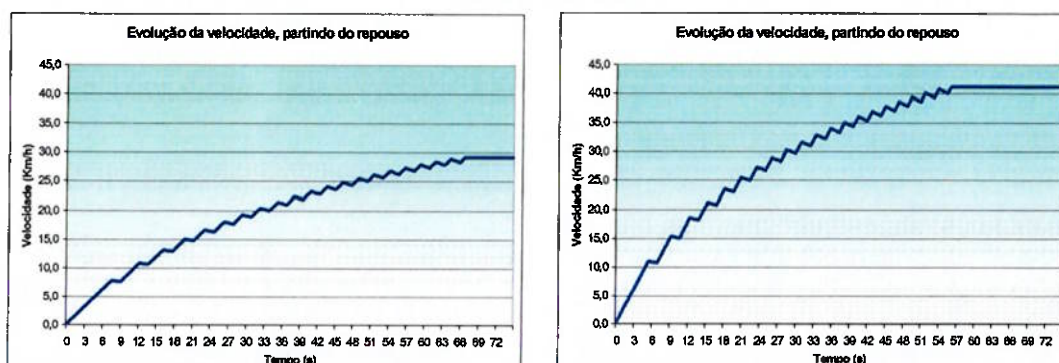
Gráfico 1: Gráfico Comparativo – Velocidade x Tempo



Fazer-se-á, agora, uma análise mais aprofundada dos resultados obtidos através da fixação de parâmetros e a variação de apenas uma entrada.

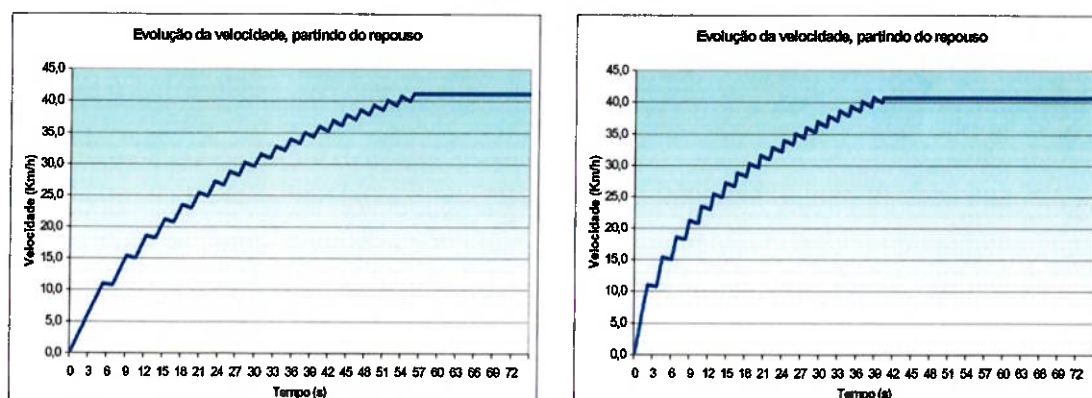
Primeiramente, analisar-se-á a influência da aplicação de diferentes forças aplicadas no sistema (Gráfico 2). Posteriormente, será fixado o valor da força aplicada e se analisará a influência da variação da relação de marchas para o sistema (Gráfico 3).

Gráfico 2 : Gráfico Velocidade x Tempo – Forças Aplicadas de 200 N e 400 N, respectivamente



Pode-se verificar que para uma força aplicada maior, a velocidade atingida é, também, maior como era de se esperar. É importante, também, ressaltar que o tempo para realizar as primeiros vinte movimentos de remada é maior quando aplica-se uma força maior.

Gráfico 3 : Gráfico Velocidade x Tempo – Variação da Relação de Marchas - 6,2 e 1,1, respectivamente.



Pode-se observar, através do gráfico 3 que a aceleração é maior para a menor relação (1,1), embora a velocidade final seja a mesma para ambas as relações. É importante verificar que mas o tempo do movimento da remada é muito reduzido para uma relação baixa o que impossibilita o condutor de realizar o movimento e desta forma conseguir atingir tais velocidades máximas.

Analisando-se os gráficos 2 e 3, concomitantemente, pode-se, então, concluir que a aceleração será maior quando utilizadas a menor relação com a maior força aplicada.

Pode-se concluir, também, que a velocidade máxima do condutor depende do tempo em que este realiza o movimento de remada para uma determinada relação de marchas, pois neste ponto haverá um equilíbrio entre a força e tempo do movimento de remada.

6 ESTUDO ECONÔMICO

Para se definir o preço de construção do veículo, foi realizada uma pesquisa de preços de veículos similares ao desenvolvido neste relatório. Essa pesquisa foi realizada através do uso da internet. Foram encontrados alguns produtos similares com preços variando entre US\$800,00 e US\$3980,00.

Foi realizada, também, uma pesquisa de preços de peças que foram utilizadas para a construção deste veículo. A pesquisa foi realizada nos meses de agosto e setembro do ano de 2002. O resultado desta pesquisa será, resumidamente, apresentado abaixo.

Observa-se, aqui, que o maior custo para a construção do protótipo provém das peças de bicicletas convencionais e, portanto, fez-se uma pesquisa com fornecedores de produtos novos e seminovos. As duas primeiras lojas (Bike Sports e Ciclovece) fornecem exclusivamente peças originais novas, enquanto as outras (Ciclo Lazarini e Santo Amaro) fornecem tanto peças novas quanto seminovas.

Abaixo segue tabela comparativa entre os preços das quatro lojas pesquisadas para as peças necessárias para construção do protótipo.

	Bike Sports	Ciclovece	Ciclo Lazarini	Sto. Amaro
Roda / Aro / Cubo Frente	56,00	28,00	27,00	35,00
Roda / Aro / Cubo Tras	60,00	28,00	27,00	35,00
Pneu + Camara	20,00	22,00	12,00	14,00
Cambio Dianteiro		16,00	8,00	50,00
Cambio Traseiro	30,00	25,00	10,00	
Alavanca de Cambio (par) + cabos	20,00	15,00	10,00	
Manete Plastico (par)	8,00		8,00	10,00
Manete Alumínio (Par)	15,00	29,00		
Conjunto de freio (frente/tras)	15,00	18,00	13,00	15,00
Movimento central 34,7 (cubo pedal)	16,00	29,00	15,00	23,00
Corrente (p/ marchas - maior)	17,00		12,00	15,00
Corrente menor	14,00	12,00		
Coroa 48 / 38 / 28	54,00	59,00	9,00	18,00
Coroa 44 (Preço aproximado)	20,00			7,00
Catraca (c/ rolamento) 20 dentes	12,00			15,00
Catraca 6 marchas (28 ~ 13)	47,00	15,00	15,00	18,00

Tabela 1: Comparação de preços.

É importante analisar que a tabela acima não fornece os valores totais de construção. Ainda é necessário acrescentar o preço das barras que formam a estrutura e a mão de obra. Tais valores foram estimados para que houvesse a possibilidade de se definir um valor final para o custo de construção do protótipo e, desta maneira, verificar-se um possível valor de venda do produto.

Os valores finais de construção alcançados são de aproximadamente R\$760,00. Tal valor é coerente com o valor estabelecido como requisito econômico, o qual não poderia ultrapassar R\$800,00 na construção.

Com esse valor, como dito anteriormente, é possível estimar um valor de venda entre R\$1300,00 e R\$1500,00. Esse valor é muito menor que o valor encontrado pelos fabricantes estrangeiros e, dessa maneira, torna possível a venda do produto.

Os valores descritos anteriormente podem sofrer alterações devido a variação dos preços de peças usadas.

7 CONCLUSÃO

Pode-se observar através da análise deste projeto que a fabricação de um veículo terrestre de propulsão a remo é perfeitamente viável do ponto de vista da engenharia e do ponto de vista econômico. São necessárias, ainda, algumas melhorias que não puderam ser empregadas neste projeto devido a seus propósitos e a dificuldade de encontrar peças convenientes ao projeto. Lembra-se, aqui, que foram utilizadas peças de bicicletas convencionais, além de peças adaptadas na construção do protótipo.

É importante salientar que o objetivo deste projeto era o de projetar e construir um protótipo em escala real e que este objetivo foi plenamente alcançado, sendo que o protótipo e todos seus sistemas projetados passaram por testes e mostraram-se funcionais e resistentes, mesmo utilizando-se de peças adaptadas.

Por fim, é importante dizer novamente que a elaboração de peças exclusivas para esse tipo de veículo ainda se faz necessário, mas a elaboração e o funcionamento de seus sistemas já podem ser considerados como projetados.

8 REFERÊNCIAS:

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Tampere, Finlândia. Apresenta recursos e atividades desenvolvidas. Disponível em <<http://www.tut.fi>>. Acesso em 18 de outubro de 2002

FEDERAÇÃO ESTADUAL DE REMO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro. Informações sobre remo e eventos esportivos. Disponível em <<http://www.frerj.com.br>>. Acesso em 15 de maio de 2002.