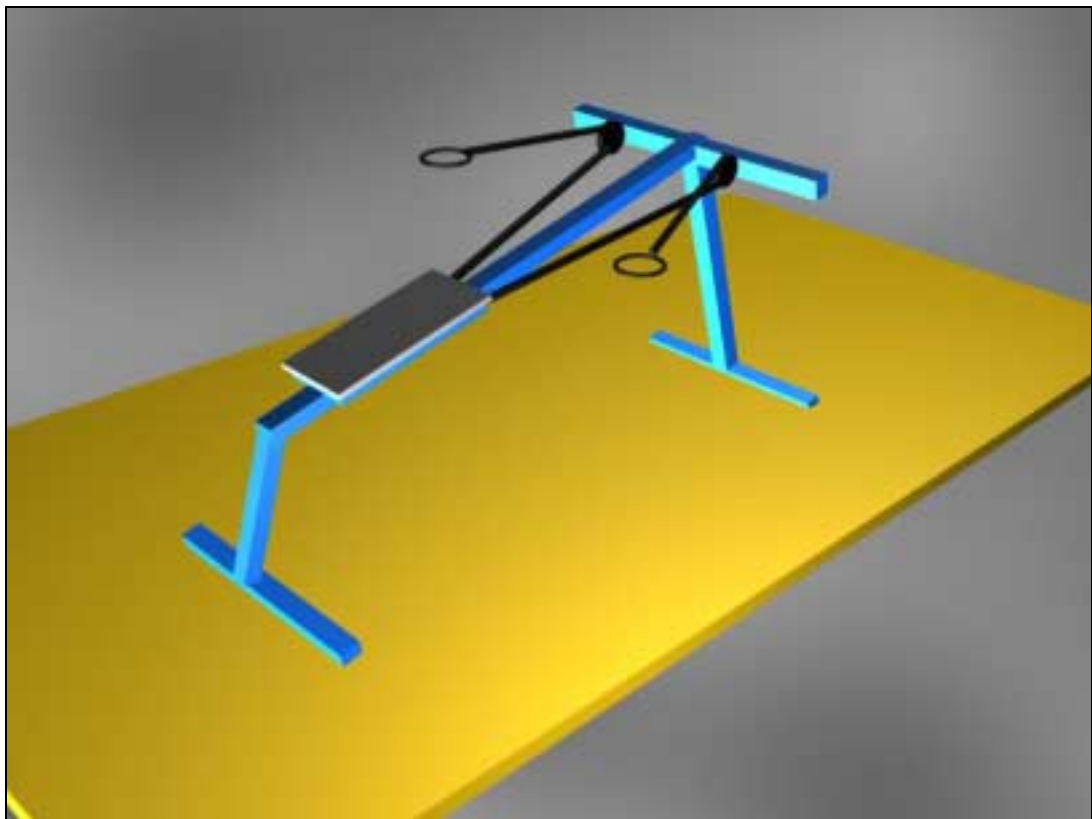


UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
Faculdade de Engenharia Industrial Mecânica

DISPOSITIVO MECÂNICO PARA TREINAMENTO DE NADADORES



Santos – 2005



DISPOSITIVO MECÂNICO PARA TREINAMENTO DE NADADORES

Bernard Scattolin Faure

Eder Savanini

Francisco Assis Nascimento

Jorge Zacarias

Trabalho de aproveitamento da
disciplina “Projeto de Graduação I” do
curso de Graduação em Engenharia
Industrial Mecânica da Universidade
Santa Cecília.



Agradecimentos

Dedicamos esta monografia às nossas famílias e a todos aqueles que de alguma forma nos auxiliaram para a realização da mesma, e em especial aos professores:

Valmir Demarchi

José Carlos Morilla

João Carlos Teixeira Barros

Carlos Alberto Amaral Moino

Wilson Roberto Nassar

Não nos esquecendo obviamente dos inúmeros professores com elevados propósitos acadêmicos desta faculdade, sem os quais nada disto poderia ser realizado.



***“Pensar é o trabalho mais difícil que há,
e essa é provavelmente a razão
por que tão poucos se dedicam a ele. “***

(Henry Ford)

SUMÁRIO

PG I

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	11
1.1 – PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA:	11
1.2 – FLUTUAÇÃO:	12
1.3 – RESISTÊNCIA AO ESFORÇO	13
1.4 – ASPECTOS FISIOLÓGICOS	14
1.4.1 – Termorregulação	14
1.4.2 – Frequência cardíaca e pressão arterial	15
CAPÍTULO 2 – EQUIPAMENTO	16
2.1 – DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO:	18
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO	21
3.1 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DA VIGA PRINCIPAL	21
CAPÍTULO 4 – CÁLCULOS	24
4.1 – ESTUDO DO QUADRO ISOSTÁTICO	25
4.2 – DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS VIGAS	26
4.2.1 – Viga Principal	26
4.2.2 – Vigas de sustentação	27
4.2.2.1 – Traseira	27
4.2.2.2 – Dianteira	27
4.2.2.3 – Ângulo de Inclinação	29
4.2.3 – Prancha	32
4.3 – DETERMINAÇÃO DAS SEÇÕES TUBULARES	32
4.3.1 – Material Utilizado	34
4.3.2 – Critério de Dimensionamento	34
4.3.3 – Forças dinâmicas	36
4.3.4 – Situação Crítica: Atleta no centro da viga principal em repouso	37
4.4 – DETERMINAÇÃO DA BARRA TRANSVERSAL	39
4.4.1 – Material Utilizado	42
4.4.2 – Critério de Dimensionamento	43
4.4 – DETERMINAÇÃO DO CARRO MÓVEL	48
4.4.1 – Eixos	48
4.5 – SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO	51
4.5.1 – Cabos para Movimentação	52
4.5.2 – Polias para Movimentação	55
4.6 – FIXAÇÃO DOS COMPONENTES	58
4.6.1 – Dimensionamento dos Parafusos	61
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO	66



CAPITULO 6 – BIBLIOGRAFIA	68
CAPITULO 7 – ANEXOS	70

SUMÁRIO

PG II

CAPÍTULO 1 – CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	76
CAPÍTULO 2 – MODIFICAÇÕES NO PROJETO INICIAL	77
2.1 – CARRO MÓVEL	77
2.2 – SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO DISPOSITIVO	77
CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DE CUSTO	79
CAPÍTULO 4 – SUGESTÕES DE MELHORIA	81
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS DO TESTE PRÁTICO	81
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	83
CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFIA	84
CAPÍTULO 7 – ANEXOS	85

LISTA DE FIGURAS**PGI**

Figura 1: Ilustração Esquemática do Dispositivo Proposto.....	18
Figura 2: Ilustração Esquemática do Atleta Sobre o Dispositivo	23
Figura 3: Ilustração das Forças Exercida pelo Atleta	23
Figura 4: Decomposição da Força Peso do Atleta sobre o Dispositivo de Natação.	24
Figura 5: Identificação Vigas e Nós	25
Figura 6: Esquema do Equipamento no Menor Ângulo (9°)	28
Figura 7: Esquema do Equipamento no Maior Ângulo (19°).....	28
Figura 8: Gráfico 1 – Possibilidade 1	30
Figura 9: Gráfico 1 – Possibilidade 2	31
Figura 10: Tubo Metálico de Perfil Quadrado Conforme Norma NBR 8261.....	33
Figura 11: Esforços Normais (N) para Situação Crítica	37
Figura 12: Esforços Cortantes (N) para Situação Crítica.....	37
Figura 13: Momentos Fletores (Nmm) para Situação Crítica.....	38
Figura 14: Deformação da Estrutura para Situação Crítica	38
Figura 15: Tubo Metálico de Perfil Circular	40
Figura 16: Força resultante na barra transversal – Viga principal com inclinação de 9°	41
Figura 17: Força resultante na barra transversal – Viga principal com inclinação de 19°	42
Figura 18: Esforço Cortante para a situação 1	43
Figura 19: Momento fletor para a situação 1	44
Figura 20: Flexa para situação 1 = 0,17mm.	44
Figura 21: Esforços Cortante para Situação 2	46
Figura 22: Momentos Fletores para Situação 2	46
Figura 23: Deflexão “Flexa” para a Situação 2 = 0,35mm	47
Figura 24: Ilustração Esquemática do Carro Móvel	48
Figura 25: Sistema de Movimentação do Equipamento	51
Figura 26: Polia para Cabos de Aço	58
Figura 27: Esboço da fixação da barra frontal	59
Figura 27: Esboço da Fixação entre as Barras AB / BC	60
Figura 28: Esboço da fixação entre barras BC / CD	60

LISTA DE TABELAS

PGI

Tabela 1: Massa específica de algumas substâncias [3].....	11
Tabela 2: Relação Peso do Atleta x Inclinação do Equipamento	21
Tabela 3: Medidas Antropométricas – População Rio de Janeiro, entre 20 e 24 anos (FIBGE, 1977)	26
Tabela 4: Distribuição do peso do ser humano. [10].....	32
Tabela 5: Valores Dimensionamento Equipamento na Situação Crítica	39
Tabela 6: Dimensionamento da Barra Transversal – Inclinação 9°	45
Tabela 7: Dimensionamento da Barra Transversal – Inclinação 19°	47
Tabela 8: Coeficiente para Cálculo dos Diâmetros de Cabos, Polias e Tambores [12]	52
Tabela 9: Coeficiente de Segurança para Cabos de Aço [12].....	53
Tabela 10: Tabela Parcial de Cargas de Ruptura para Cabos de Aço – Siva [14].....	54
Tabela 11: Desenho das Polias – Parcial [12]	56
Tabela 12: Resumo Forças Cortantes nas Barras do Dispositivo	61
Tabela 13: Determinação dos Parafusos do Dispositivo	62
Tabela 14: Resumo dos Parafusos que Deverão ser Utilizados no Equipamento	65

LISTA DE TABELAS

PGII

Tabela 15: Custo do Dispositivo.....	80
--------------------------------------	----

RESUMO

Diante da inexistência no mercado nacional de um equipamento que atenda as necessidades para o treinamento de atletas de natação fora da água, buscando atender a uma demanda que não é suprida pelos equipamentos de ginásticas existentes em nosso país, foi então realizado um estudo dos dados antropométricos, com o intuito de projetar um equipamento que atenda a esta finalidade.

Este equipamento é formado basicamente por vigas tubulares, a viga principal irá funcionar como um trilho, por onde deslizará um carro móvel, existe uma “prancha” sobre este carro móvel sobre a qual o atleta irá se apoiar para exercer as rotinas de exercícios, simulando fora da água os movimentos típicos de natação realizados dentro de uma piscina.

Dimensionou-se neste equipamento os diversos ângulos de inclinação das vigas, seus esforços internos solicitantes e as escolhas dos materiais e perfis metálicos a serem utilizados com o intuito de viabilizar sua construção.

ABSTRACT

Due to the inexistence of a swimming training machine without the need of water interaction in the Brazilian market, aiming to attend an unsupplied need delivered by gymnastics training machines established in our country, it has been conducted an study of physical attributes in order to develop a machine to match those requirements.

This equipment is built basically of tubular beams, where the main beam works as a guiding rail, from where a sliding car will be moving, on which it will be attached a wide board where the athlete will be supported and will be able to execute the training routines, simulating out of water the typical swimming movements done inside a swimming pool.

All the different beam angles, their internal load reactions and material requirements as well as their metallic profiles were selected so that the main objective of developing the machine could be accomplished.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O homem da pré-história já utilizava o ambiente aquático com muita frequência. Arqueólogos relatam que há cinco mil anos, na Índia, já existiam piscinas de água quente e, ainda, que figuras Assírias de baixo relevo mostravam estilos rudimentares de natação. [1]

1.1 – PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA:

A água pura a 25°C tem uma massa específica de 1000 kg/m³, portanto, se um objeto tem uma massa específica menor que este valor, ele flutuará e se for maior, afundará. [1]

Tabela 1: Massa específica de algumas substâncias [3]

Substância	Massa específica (kg/m ³)
Água potável a 25°C	1000
Água do mar a 25°C	1026
Corpo do homem	978
Corpo da mulher	962
Gordura	946
Músculo	1058
Osso	1801

Com os dados da Tabela 1, fica fácil compreender porque uma pessoa pesando 1100N, com porcentagem de gordura elevada, consegue flutuar com mais facilidade que uma outra com 600N e com preponderância de ossos e músculos. Assim a mulher, por normalmente possuir uma porcentagem de gordura mais elevada e menos massa muscular e óssea do que o homem flutua com mais facilidade. [1]

Dentro de uma piscina, podemos alterar a nossa massa específica, modificando nossa capacidade de flutuar, enchendo nossos pulmões de ar.

A massa específica da água é cerca de 770 vezes maior do que a do ar. Tal fato será, portanto, de grande importância para a conceituação do dispositivo que se propõe este estudo, o treinamento terrestre (fora da água) de nadadores. [1]

1.2 – FLUTUAÇÃO:

O conceito de flutuação está baseado no princípio de Arquimedes que diz “quando um corpo está completa ou parcialmente imerso em um líquido em repouso, ele sofre um empuxo para cima igual ao peso do líquido deslocado”. [2]

Quando estamos dentro da água, somos submetidos a duas forças verticais: uma de cima para baixo (peso) e uma outra de baixo para cima (empuxo), logo, o corpo está em equilíbrio, na situação de equilíbrio a resultante dessas forças é igual a zero. A força peso depende da massa e da aceleração da gravidade e a força de empuxo depende do volume deslocado. A profundidade da piscina deve ser tal para proporcionar o deslocamento do volume para o equilíbrio do corpo.

Geralmente, a água na altura do peito nos proporciona um bom equilíbrio e ótimo alívio do peso corporal. Um corpo com água na altura do ombro tem em média 90% de seu peso reduzido, obviamente esta redução depende da composição corpórea de cada um. A força do empuxo alivia o peso e, por consequência, a pressão no sistema osteoarticular, causando menos lesões. A atenuação dos efeitos da gravidade reduz o volume de sangue nos membros inferiores, aumentando o volume sanguíneo na região do tórax (pressão hidrostática). A pressão hidrostática também proporciona uma vasoconstrição periférica, facilitando assim o retorno venoso dos membros inferiores para o coração, bem como reforça a musculatura envolvida na respiração (resistência à expansão). [2]

No dispositivo terrestre, a pressão hidrostática da água sobre o nadador, deixará de existir, conseqüentemente, o sistema cardiovascular deverá se adaptar à esta nova situação, na qual o retorno venoso estará definido principalmente pela movimentação muscular dos membros sem a ajuda da pressão hidrostática. A

musculatura respiratória (intercostais e diaframático) também encontrará resistência no dispositivo terrestre, mas de modo diferente, não pela ação da pressão hidrostática da água sobre a região torácica, mas sim pela posição de decúbito ventral sobre a prancha (carrinho) deste equipamento. [3]

1.3 – RESISTÊNCIA AO ESFORÇO

A viscosidade é o atrito que existe entre as moléculas da água, oferecendo assim resistência ao movimento, em todas as direções. [4]. Sendo o ar menos viscoso que a água, encontra-se menos resistência ao exercício fora da água. Quando se realiza movimento no interior da piscina, percebe-se que de acordo com o posicionamento dos segmentos corporais e também de acordo com a velocidade que os movimentos são realizados, a resistência varia. Isto ocorre, pois, ao se fazer o movimento na água, cria-se uma área de pressão maior na frente e uma área de pressão reduzida atrás do objeto que está se movendo através da água, resultando num fluxo grande de água para o interior desta área de pressão reduzida (esteira).

Então, formam-se redemoinhos dentro desta área de pressão reduzida. Com o aumento da velocidade, aumenta o fluxo de água para o interior da esteira, sendo este fluxo de água impedido de continuar entrando nesta área de pressão reduzida, fazendo com que o fluxo de água arraste o objeto para trás (arrasto) por adesão. Se for invertido o movimento rapidamente, o objeto terá de vencer a inércia da água e ocorrerá turbulência, sendo que no fluxo turbulento a resistência é o quadrado da velocidade. [2]

No exercício realizado fora da água, com o dispositivo proposto neste projeto, o ar não exercerá praticamente nenhuma resistência ao movimento dos membros do atleta, pois em baixas velocidades, a resistência do ar pode ser considerada como sendo nula. Então, a resistência aos movimentos dos membros superiores e inferiores, durante o descolamento ou mesmo o treinamento, ficará sob

responsabilidade do efeito da gravidade, do atrito ou mesmo por outros mecanismos mecânicos envolvidos. [1]

1.4 – ASPECTOS FISIOLÓGICOS

No meio líquido o corpo está submetido a uma pressão hidrostática, condutibilidade térmica, viscosidade e massa específica diferentes. Isto faz com que além do fluxo sanguíneo e a termorregulação, o metabolismo e o sistema nervoso também sejam alterados, além do efeito psicológico apresentar alterações, principalmente pela capacidade de condução de calor da água. O corpo reage de forma imediata no que diz respeito à termorregulação, frequência cardíaca, índice de percepção ao esforço, pressão arterial e fluxo sanguíneo. [3]

1.4.1 – Termorregulação

A temperatura corporal se mantém em torno de $37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$, sendo o sistema termorregulador responsável em manter esta temperatura relativamente constante, fazendo com que exista um equilíbrio entre a produção e a perda de calor [3]. Quando este equilíbrio é afetado, no exercício fora da água, o organismo lança mão de mecanismos distintos termorregulatórios do hipotálamo por meio de receptores térmicos na pele ou pela temperatura do sangue que perfunde esta região do cérebro.

A irradiação, condução, convecção e evaporação são os mecanismos envolvidos nas trocas de calor. A capacidade de condução de calor da água é cerca de 25 vezes maior que a do ar para uma mesma temperatura [3]. Em ambiente aquático, o mecanismo predominante de permuta de calor é a condução (passagem de calor da superfície corpórea para a água que está a uma temperatura inferior a 37°C). Já no exercício terrestre, o principal mecanismo envolvido é o da evaporação (transferência de calor a partir das vias respiratórias e superfície cutânea). [1]

1.4.2 – Frequência cardíaca e pressão arterial

A frequência cardíaca máxima em atividade aquática é geralmente de 13 batimentos por minuto a menos que a frequência preconizada em atividades terrestres, pois na água há uma menor ativação da musculatura, maior retorno venoso (menor efeito da gravidade e ação da pressão hidrostática), a posição do corpo é horizontal e maior resfriamento da água. Até hoje, pouco se sabe sobre as variações da pressão arterial e suas respostas agudas no meio líquido. [3] [1]

O volume sanguíneo é distribuído de forma diferente em ambiente aquático: existe em média o aumento de 700 ml de sangue para a região central (no coração e pulmões). Tal fato só é visto como uma adaptação do sistema cardiovascular ao meio aquático, mas de modo algum inviabiliza uma nova adaptação ao dispositivo terrestre. [3]

O dispositivo terrestre presta-se, portanto, ao propósito definido quanto ao treinamento dos estilos de natação realizados fora da água, já que seus efeitos cardiovasculares não fogem aos já conhecidos da prática freqüente dos exercícios terrestres. [2]

Há muitos anos, o treinamento de força fora d'água passou a ser uma parte integrante da preparação dos nadadores de competição. No entanto, durante todo este tempo muitas variações no direcionamento do treinamento de força têm surgido, pois existem diferenças de trabalho de resistência muscular de competição fora e dentro da água. Essencialmente, quando um nadador se desloca na água está sujeito a uma resistência passiva equivalente à resistência que oferece ao corpo avançar. No caso do aumento da resistência e carga serem excessivos em um treinamento fora da água, os nadadores não poderão desenvolver velocidade de competição. Por outro lado, se a resistência adicional é leve, pode-se utilizar instrumentos para o desenvolvimento da resistência adicional. [1]

CAPÍTULO 2 – EQUIPAMENTO

Não se incluirão maiores justificativas ou comparações entre o nado em ambiente aquático e o treinamento com o dispositivo terrestre em questão, pois nada ou muito pouco acrescentaria ao conhecimento dos educadores físicos sobre os efeitos dos exercícios físicos sobre o sistema osteoarticular, sistema urinário, condicionamento físico, osteoporose, obesidade, flexibilidade, etc. Certo que em ambiente terrestre os músculos ditos antigravitacionais são muito mais exigidos do que em meio aquático [3], bem como toda uma nova adaptação cardiovascular será uma realidade, mas nem por isto a importância do dispositivo terrestre para treinamento dos estilos de natação poderia ser questionada enquanto uma complementação ao treinamento desta atividade esportiva ou mesmo competitiva. [1].

Não existindo nenhum equipamento similar no mercado nacional, e visando responder aos anseios de atletas que praticam a natação competitiva, se concretiza neste projeto uma realização ímpar neste país para elaboração deste dispositivo. Parti-se de um estudo da fisiologia comparativa entre os ambientes fora e dentro da água e de uma análise das medidas antropométricas existentes para então definir as dimensões iniciais do mesmo.

O dimensionamento deste equipamento se apoiará obviamente aos esforços que o atleta deverá exercer para a realização do exercício de natação. Define-se o ângulo de inclinação da viga central (trilho) para viabilizar a prática do exercício.

Tratando-se de um quadro isostático, constituído de inúmeras variáveis para os cálculos dos esforços existentes, será utilizado o programa FTOOL, desenvolvido pelo Professor Associado Luiz Fernando Martha da PUC – Rio e disponível no SITE da própria PUC – Rio. Este programa é muito objetivo e prático, para o estudo de diferentes solicitações críticas de esforços.

Neste projeto, inicialmente será descrita a estrutura mecânica deste dispositivo, sua forma, aspecto e finalidade a que se propõe.

Na seqüência, serão estudadas as propriedades físicas da água para conceituar os efeitos físicos da água sobre o atleta, tais como a flutuação e viscosidade da água, para então correlacioná-las com os fenômenos fisiológicos para então comparar estes últimos com o atleta estando dentro e fora da água. Estuda-se para isto conceitos básicos de termorregulação, frequência cardíaca e pressão arterial, que são fatores essenciais para o monitoramento dos processos de homeostase durante a realização de exercícios físicos nestes distintos meios.

O dimensionamento deste equipamento, sendo o objetivo principal deste estudo, para viabilizar a sua realização, será iniciado com a simulação e cálculos dos esforços a serem realizados pelo atleta durante a realização do exercício, para então determinar o ângulo de inclinação da viga principal (trilho), o fator essencial para uma adequada realização dos exercícios de natação.

O estudo do quadro isostático, estrutura assumida por este dispositivo, será realizado com o auxílio de medidas antropométricas que viabilizem uma adequada ergonomia por parte de qualquer usuário. Dimensiona-se então o comprimento de todas as vigas constituintes deste dispositivo.

Visando minimizar os esforços solicitantes nas seções tubulares deste dispositivo será realizado o estudo de sete diferentes situações, as consideradas mais críticas, com o atleta sobre este dispositivo e realizando exercício, para então determinar os ângulos de inclinação das duas vigas de sustentação deste quadro isostático, fato este que visa também diminuir a deflexão da viga central bem com maximizar a estabilidade de todo equipamento. Juntamente com este estudo, serão analisados os coeficientes de segurança para estas distintas situações, com o intuito de melhor direcionar a escolha das dimensões do tubo de seção quadrada.

Finaliza-se esta monografia com o dimensionamento do carro móvel, da prancha a ser fixa sobre este último, bem como com o dimensionamento das roldanas e cabos que irão constituir este dispositivo.

2.1 – DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO:

O dispositivo em questão será formado essencialmente por vigas metálicas tubulares disponíveis comercialmente. Todo o estudo a seguir será guiado para dimensionamento destas estruturas. Este dispositivo para treinamento de nadadores deverá ter o aspecto da Figura 1.

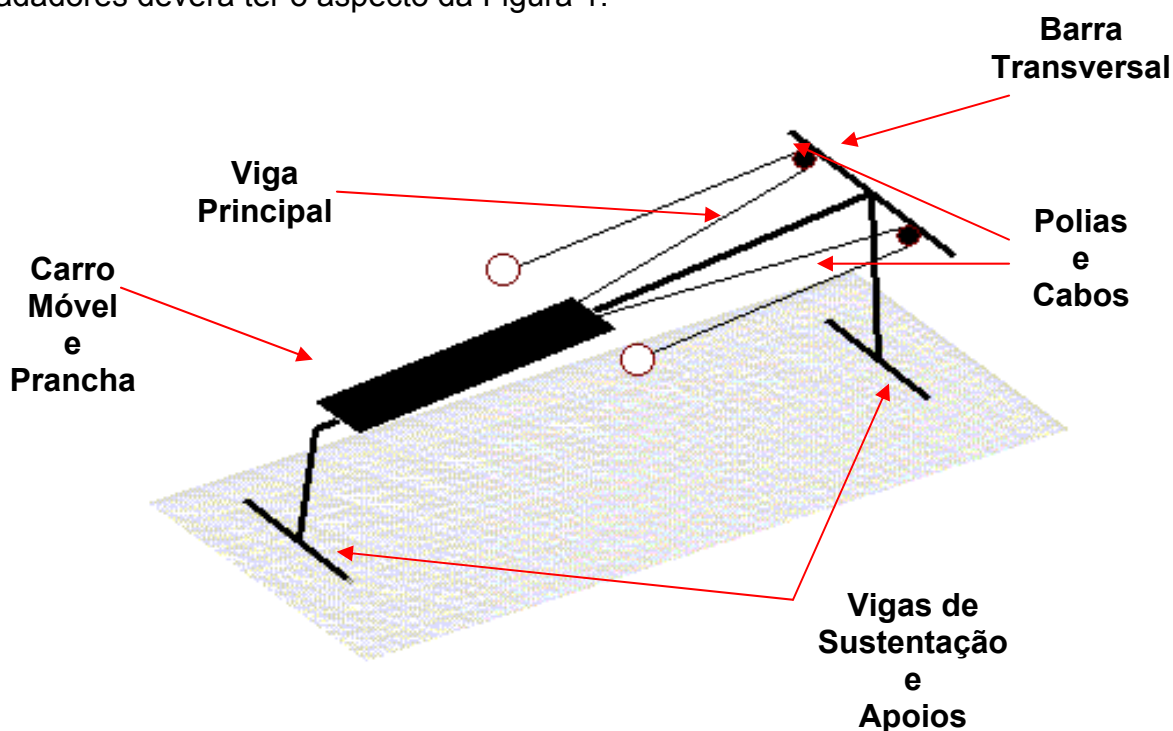


Figura 1: Ilustração Esquemática do Dispositivo Proposto

Este dispositivo será formado basicamente por uma viga principal inclinada que servirá de “trilho” para um carro móvel e prancha.

A prancha estará montada sobre o carro móvel, nela, o atleta ficará em decúbito ventral para exercitar-se. O carro móvel irá se deslocar ao longo da viga principal conforme o exercício é realizado.

Duas outras vigas formarão os suportes de sustentação da viga principal, o suporte traseiro com dimensão fixa terá menor comprimento que o dianteiro, que poderá ser regulado para o aumentar a inclinação da viga principal e conseqüentemente o esforço do atleta no exercício. Duas outras vigas metálicas servirão como apoio sobre o piso.

Na junção da viga principal com a viga de sustentação dianteira, uma barra metálica disposta horizontalmente em relação ao solo e transversalmente ao dispositivo, será o local de fixação de duas roldanas que por sua vez irão transferir o esforço do atleta, por meio de cabos de aço fixo ao carro móvel.

Ao realizar este esforço de contração e flexão muscular e assim o encurtamento dos membros superiores (aproximação das mãos junto ao tronco), a força que ele irá vencer será o da componente horizontal do peso de seu corpo quando apoiado sobre o carrinho, e este por sua vez, irá avançar sobre a viga principal (trilho). Desta forma, o atleta irá exercer o treinamento de natação sobre um dispositivo mecânico.

Ao relaxar a musculatura de seus membros superiores, e conseqüentemente extensão dos mesmos, o carro móvel sobre o qual o atleta se encontra, irá deslizar para “baixo”, já que a viga central encontra-se inclinada tornando o peso do atleta o gerador deste retorno à posição inicial do exercício. Como este dispositivo possui duas roldanas, o atleta terá a escolha de utilizar apenas um membro superior para a realização dos exercícios, ou mesmo ambos movimentando-se ao mesmo tempo. [9]

Este dispositivo, não substitui uma piscina, mas certamente auxilia atletas que participam de sérios treinamentos voltados para competição, para um melhor preparo de seu condicionamento físico, já que a carga que eles deverão exercer será variável e ajustável com a mudança da inclinação da viga principal (trilho), o que dificilmente se consegue dentro de uma piscina na qual a resistência da água imposta ao atleta, não pode obviamente ser modificada. [2]

CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO

Este capítulo é dedicado ao estudo do dispositivo de treinamento de natação, que simula, “em terra”, da melhor maneira possível e com a possibilidade de variar a carga, os exercícios realizados dentro da água.

3.1 – DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DA VIGA PRINCIPAL

O equipamento será simplesmente apoiado sobre o solo. Não será fixo no mesmo para que seja possível transportá-lo. A inclinação da viga principal (trilho) deverá ser avaliada para que permita um bom desempenho durante a realização do exercício de natação durante a sua utilização ou mesmo desconforto que possa inviabilizar a sua utilização.

A Tabela 3 mostra que para diferentes inclinações da viga principal (ângulo α), a soma vetorial do peso do praticante deste equipamento com a força normal (F_n) (reação do carrinho sobre o atleta) irá também variar. Existe, portanto, uma relação diretamente proporcional entre a resultante e a inclinação da viga principal. Esta soma vetorial representa a força que o atleta irá exercer durante a realização dos exercícios.

Tabela 2: Relação Peso do Atleta x Inclinação do Equipamento

α	F (N)	Resultante	F (%)
9 °	1500	234,65	15,64
11 °	1500	286,21	19,08
13 °	1500	337,43	22,5
15 °	1500	388,23	25,88
17 °	1500	438,56	29,24
19 °	1500	488,35	32,56

A capacidade para puxar ou empurrar, depende de diversos fatores como a postura, dimensões antropométricas, sexo, atrito, etc. Em geral, as forças máximas para empurrar e puxar, para homens oscila entre 200 e 300 N, e para as mulheres, os níveis estão entre 40 e 60 % desta capacidade. Se for utilizado o peso do corpo e a força dos ombros para empurrar, conseguem-se valores para os homens de até 500 N de peso. [10]

Com uma inclinação de 19° o atleta de 1500N deverá realizar esforço de 488N, ou seja: o atleta irá exercer uma força que representará o correspondente a 32% de seu peso. Para um exercício anaeróbico, trata-se de um valor bastante elevado ou mesmo mais do que o adequado para um treinamento de um atleta com ótimo condicionamento físico. [1]

Para este trabalho, foi definida uma inclinação de 19° (em relação ao plano horizontal do solo) da viga principal deste equipamento como máxima.

Para pequenas inclinações da viga principal, o esforço que o atleta deverá exercer será baixo, em relação a seu peso, bem como, a componente horizontal de seu peso que é responsável pelo retorno do carrinho à posição inicial do carrinho (na extremidade inferior da viga principal). Assim sendo, deve-se utilizar uma inclinação que seja no mínimo representativa para a execução do exercício físico para o qual se dispõe este dispositivo. Adota-se então uma inclinação mínima para esta viga no valor de 9° (Tabela 2), situação em que o atleta deve exercer um esforço de cerca de 15% do valor de seu peso.[1]

A Figura 2 ilustra esquematicamente a estrutura do equipamento de exercício com o atleta, sobre a viga principal da mesma com inclinação α , exercendo um peso (P), a Figura 3 ilustra as forças exercidas pelo atleta para melhor visualização.

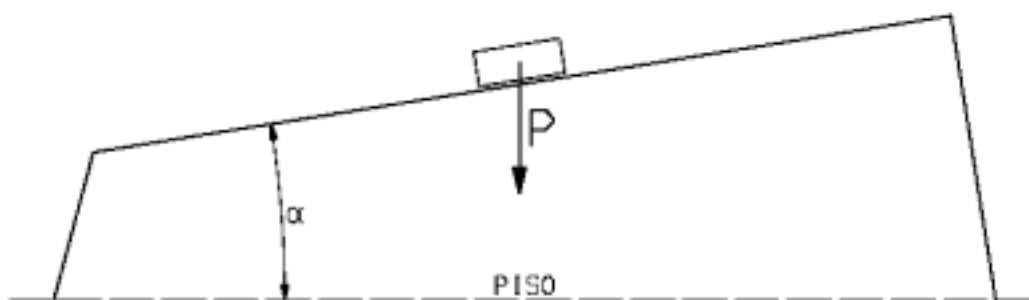


Figura 2: Ilustração Esquemática do Atleta Sobre o Dispositivo

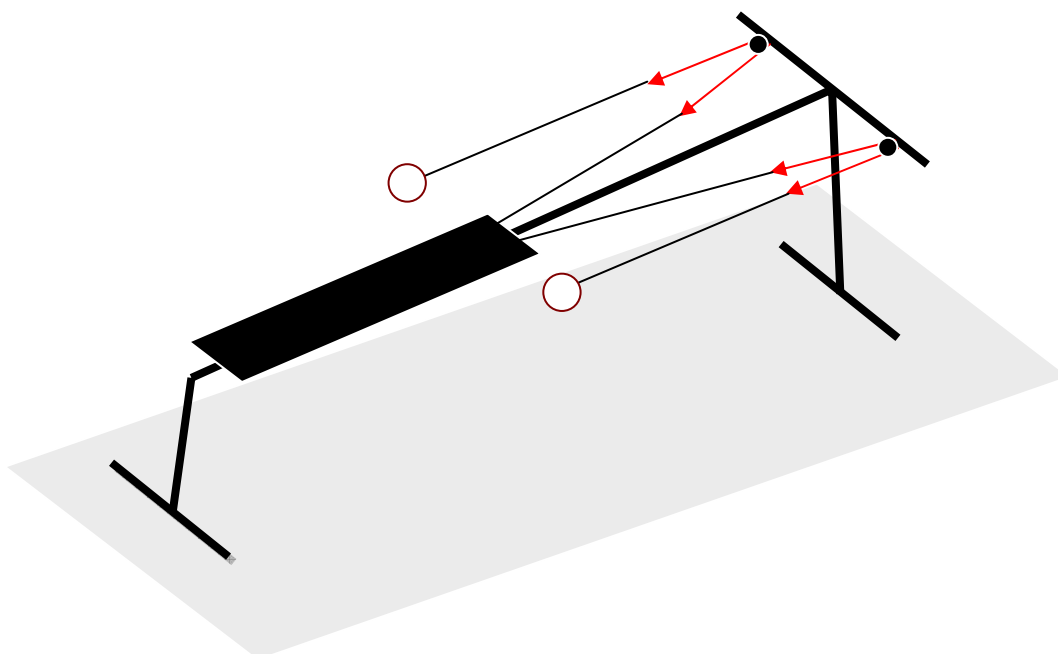


Figura 3: Ilustração das Forças Exercida pelo Atleta

CAPÍTULO 4 – CÁLCULOS

O peso do atleta (P) será considerado igual a 1500N. Na Figura 4 a componente (F1) representará a carga que o atleta irá exercer para realizar o exercício que simulará o nado fora da água. A componente (F2) será utilizada, caso seja necessário, para o cálculo do atrito entre o carrinho e a viga principal, a Figura 4 ilustra as componentes da força peso do atleta para melhor visualização.

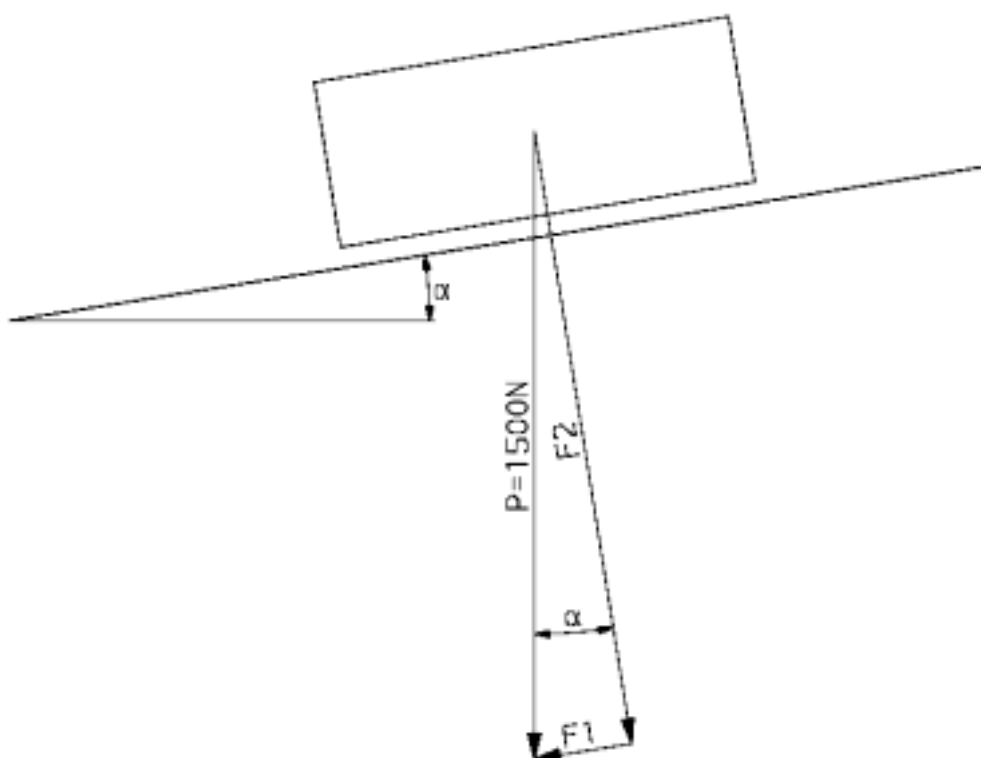


Figura 4: Decomposição da Força Peso do Atleta sobre o Dispositivo de Natação.

$$F1 = P \times \sin \alpha \quad \text{(Equação 1)}$$

$$F2 = P \times \cos \alpha \quad \text{(Equação 2)}$$

4.1 – ESTUDO DO QUADRO ISOSTATICO

Considerando que o equipamento em questão é um quadro isostático plano (pórtico), a seguir são apresentados os cálculos dos esforços envolvidos nas vigas que compõe este equipamento. Divide-se então o quadro (constituído de três vigas) em seus nós (que são em número de dois). Analisa-se cada uma dessas vigas em equilíbrio. A Figura 5 ilustra as 3 vigas e os 2 nós que constituem o equipamento. [5]

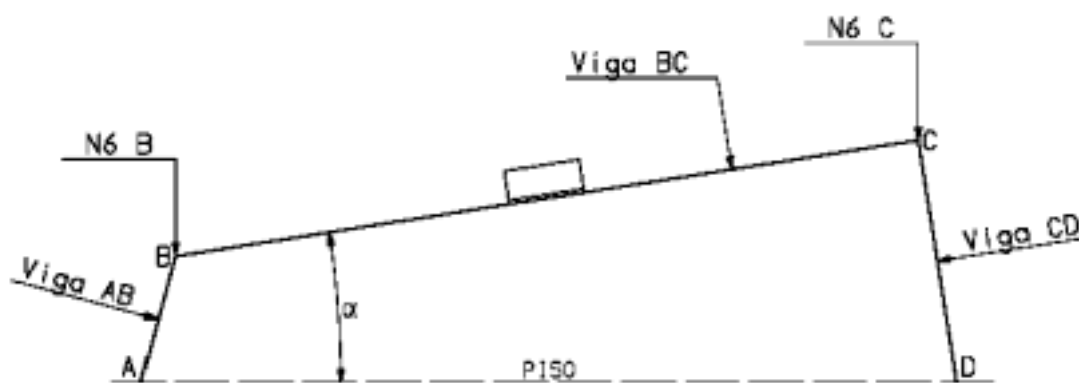


Figura 5: Identificação Vigas e Nós

Como a viga principal (BC) terá diferentes ângulos de inclinação, os momentos fletores bem como todos os esforços envolvidos terão grandes variações. Para a determinação destes esforços se fez uso de um programa para solução de estruturas planas chamado FTOOL. Para a utilização deste programa, definem-se as forças envolvidas.

4.2 – DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS VIGAS

4.2.1 – Viga Principal

Para o dimensionamento da estrutura, aspectos ergonômicos devem ser considerados para não prejudicarem o atleta. Como o equipamento pode ser utilizado por homens e mulheres de idades variadas, conseqüentemente estaturas e pesos diversificados, faz-se um estimativo baseado em estudos realizado com a população.

No Brasil ainda não existem medidas antropométricas normalizadas da população. [10] No entanto, estudos já foram feitos na tentativa de fornecer tais medidas (Tabela 3):

Tabela 3: Medidas Antropométricas – População Rio de Janeiro, entre 20 e 24 anos (FIBGE, 1977)

Medidas Antropométricas	Mulheres			Homens		
	3%	50%	97%	3%	50%	97%
Peso (kgf)	41,3	51,4	67,5	48,7	59,8	75,9
Estatura (cm)	149,3	157,6	169,9	158,6	169,5	181,9

Em função da estatura, o comprimento do membro superior de um ser humano representa 44%, da cabeça 13%, sendo que o comprimento dos pés até os joelhos representa 28%. [10]

Pode-se assim estimar um comprimento total da viga principal por meio destes dados, partindo de um indivíduo com cerca de 1,82 metros (Tabela 3), estando este apoiado sobre o carrinho e o seu corpo apoiado, da região logo acima dos joelhos até o terço superior da região do tórax, e estando o atleta com os braços estendidos sobre a cabeça.

$$L = 1,82m + (1,82m \times 0,44) - [1,82 \times (0,28+0,13)] \quad (\text{Equação 3})$$

$$L = 1,87\text{m}$$

$$\text{Adotado } L = 2,0 \text{ m}$$

4.2.2 – Vigas de sustentação

4.2.2.1 – Traseira

Adota-se para a viga de sustentação traseira um comprimento (L_t) que simplesmente permita que os membros inferiores do atleta se exercitem sem tocar o solo.

Este comprimento será fixo para a menor e maior inclinação da viga principal.

$$L_t = 0,350\text{m}$$

4.2.2.2 – Dianteira

A viga de sustentação dianteira possui regulagem de altura para variar a inclinação da viga principal.

Como as situações críticas podem ocorrer quando a viga principal estiver em seu menor ângulo de inclinação (9°) e / ou no maior ângulo de inclinação (19°) deve-se conhecer as posições que o equipamento assumirá.

Considerando que a viga principal e de sustentação dianteira são perpendiculares, os comprimentos mínimo e máximo da viga principal (AB) são obtidos através de uma simples relação trigonométrica, assim sendo, $L_{d\text{mínimo}}$ será o menor comprimento da viga de sustentação dianteira e $L_{d\text{máximo}}$ o maior.

A Figura 6 esquematiza basicamente o equipamento em três triângulos retângulos para compreensão dos cálculos.

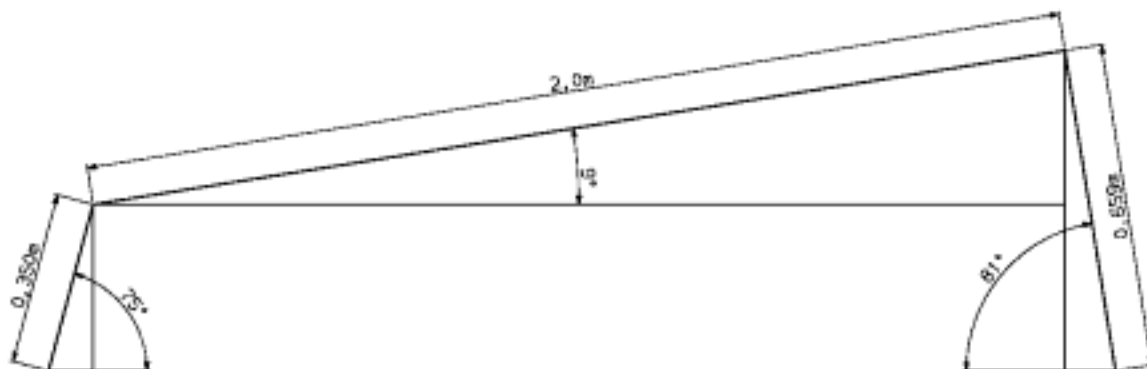


Figura 6: Esquema do Equipamento no Menor Ângulo (9°)

$$Ld_{\text{Mínimo}} = (\text{Sen}75^\circ \times 0,350\text{m}) + (\text{Sen}9^\circ \times 2,0\text{m}) = 0,651 \Rightarrow \frac{0,651\text{m}}{\text{Sen}81^\circ} = 0,659\text{m} \quad (\text{Equação 4})$$

Adotado $Ld_{\text{Mínimo}} = 0,66\text{m}$

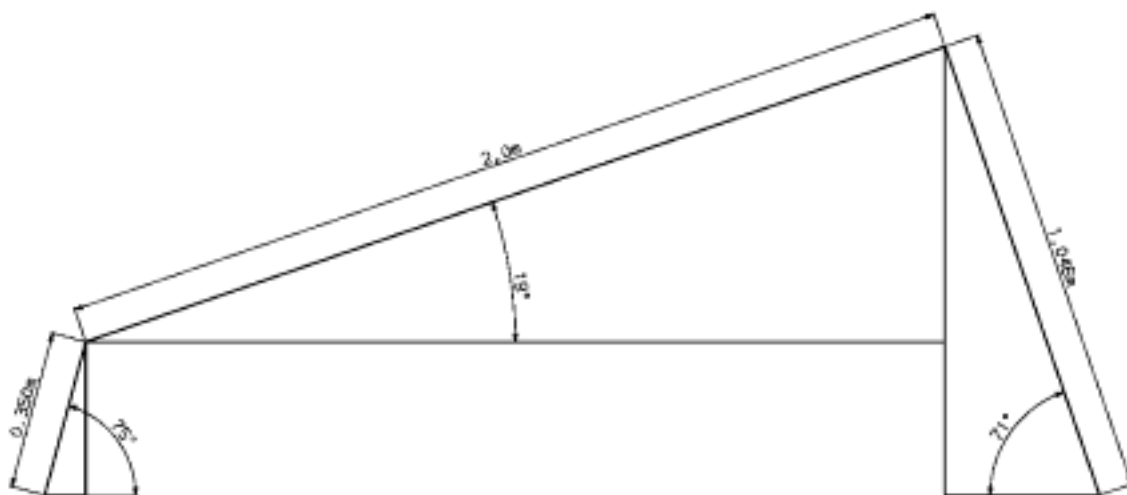


Figura 7: Esquema do Equipamento no Maior Ângulo (19°)

$$Ld_{\text{Máximo}} = (\text{Sen}75^\circ \times 0,350\text{m}) + (\text{Sen}19^\circ \times 2,0\text{m}) = 0,989 \Rightarrow \frac{0,989\text{m}}{\text{Sen}71^\circ} = 1,046\text{m} \quad (\text{Equação 5})$$

Adotado $Ld_{\text{Mínimo}} = 1,050\text{m}$

4.2.2.3 – Ângulo de Inclinação

Com auxílio do programa para solução de estruturas planas FTOOL, se simula algumas condições na estrutura para avaliação do melhor ângulo de inclinação da viga de sustentação traseira.

Foram estudadas duas possibilidades:

Possibilidade 1 – Três ângulos de inclinação para a viga de sustentação traseira (90° , 75° e 60°), mantendo a viga principal com 9° e a viga de sustentação dianteira perpendicular à principal.

Todos os ângulos adotando o solo como referência.

O gráfico 1 demonstra os resultados dos esforços normais, cortantes e momentos fletores máximos para a possibilidade 1.

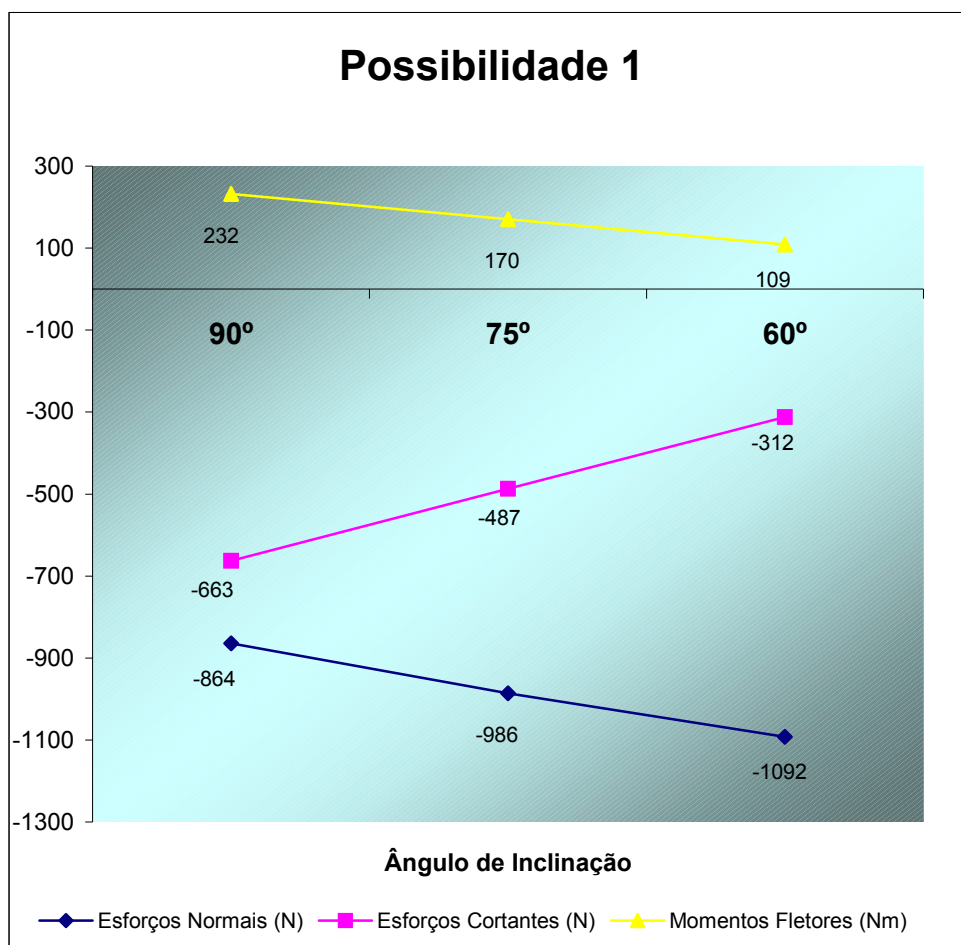


Figura 8: Gráfico 1 – Possibilidade 1

Possibilidade 2 - Três ângulos de inclinação para a viga de sustentação traseira (90°, 75° e 60°), mantendo a viga principal com 19° e a viga de sustentação dianteira perpendicular à principal.

Todos os ângulos adotando o solo como referência.

O gráfico 2 demonstra os resultados dos esforços normais, cortantes e momentos fletores máximos para a possibilidade 2.

Ressaltando que os ângulos de 9° e 19° da viga principal são utilizados de referência nos estudos e cálculos por serem os casos críticos para dimensionamento de toda a estrutura.

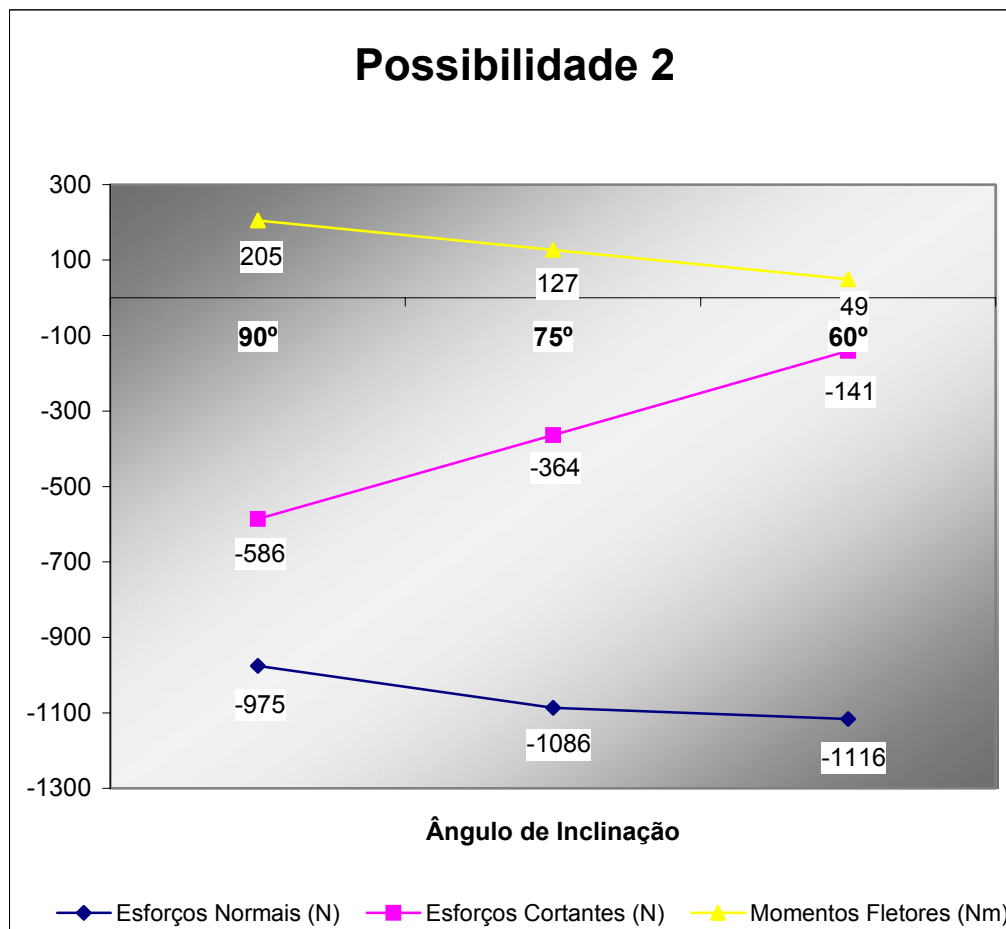


Figura 9: Gráfico 1 – Possibilidade 2

As Figuras 8 e 9 (Gráficos 1 e 2) mostram que diminuindo o ângulo de inclinação da viga de sustentação traseira (de 90° à 60°), os esforços cisalhantes e momentos fletores diminuem enquanto os esforços normais aumentam, deste modo, será adotado um ângulo intermediário de inclinação, igual a 75°.

4.2.3 – Prancha

A prancha é o local onde a pessoa estará apoiada para praticar os exercícios, e para isso alguns estudos de concentração da massa corpórea e medidas antropométricas devem ser considerados (Tabela 3 – Página 25).

Na Tabela 4 pode-se notar que o tronco representa a maior parcela do peso do ser humano.

Tabela 4: Distribuição do peso do ser humano. [10]

Parte do Corpo	% do peso total
Cabeça	6 a 8%
Tronco	40 a 46%
Membros Inferiores	11 a 14%
Membros Superiores	33 a 40%

O tronco corresponde em média a 43% da altura de um ser humano. [10], assim, a prancha que estará fixada no carro móvel terá:

$$L_p = 1,82m \times 0,43m = 0,75m \quad (\text{Equação 6})$$

Adota-se então o valor do comprimento da prancha: **$L_p = 0,75m$**

Para largura da prancha será adotado o valor de 0,35m, pois esta largura irá propiciar conforto a grande maioria dos atletas.

4.3 – DETERMINAÇÃO DAS SEÇÕES TUBULARES

As seções transversais das vigas, principal, de sustentação traseira e dianteira serão solicitadas internamente por flexão composta.

A flexão composta é aquela onde atuam, na seção transversal, um momento fletor e uma força normal. [9]

Tensões extremas serão consideradas para o dimensionamento, estas tensões ocorrem nos pontos mais afastados do eixo de simetria, por exemplo, em seções quadradas propostas para as vigas em questão.

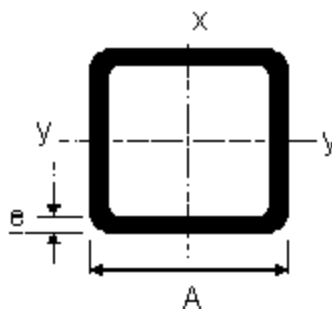


Figura 10: Tubo Metálico de Perfil Quadrado Conforme Norma NBR 8261

O plano do momento fletor estará cortando o eixo x fazendo com que a seção “gire” no sentido anti-horário em torno do eixo y.

Então, o momento fletor e a força normal atuam simultaneamente, a resultante em cada ponto é igual à soma algébrica entre a tensão desenvolvida pelo momento e a tensão desenvolvida pela força, isto é:

$$\sigma = \left(\frac{M_f}{I_y} \times Z_{\text{máx}} \right) + \left(\frac{N}{A} \right) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

σ = Tensão resultante; (Nmm²)

M_f = momento fletor; (Nmm)

I_y = Momento de inércia em relação ao eixo y; (mm⁴)

$Z_{\text{máx}}$ = Maior distância em relação ao eixo que a seção “gira”; (mm)

N = Tensão Normal; (N)

A = Área da seção; (mm²)

Há um $Z_{\text{máx}}$ para tração (Z_t) e outro para compressão (Z_c), a região superior ao eixo y , neste caso, é a região onde atua a tração, e a região inferior é de compressão.

A tensão resultante deve ser menor ou igual à tensão limite de escoamento.

$$\sigma \leq \sigma_{\text{lim}} \quad (\text{Equação 8})$$

A tensão limite de escoamento é definida como sendo o limite de escoamento (LE) do material dividido pelo coeficiente de segurança (C_s).

$$\sigma_{\text{lim}} = \frac{LE}{C_s} \quad (\text{Equação 9})$$

4.3.1 – Material Utilizado

Segundo norma NBR – 8261 para tubos metálicos estruturais, o material utilizado tem 0,3% de carbono, apresentando grande ductilidade, este material é bom para o trabalho mecânico e soldagem, não sendo temperáveis, utilizados na construção de edifícios, pontes, navios, automóveis, dentre outros usos.

$$Le = 264 \text{ N/mm}^2$$

4.3.2 – Critério de Dimensionamento

Dois critérios serão considerados para o dimensionamento das estruturas.

O primeiro é o Coeficiente de segurança, que tem por objetivo majorar o valor dos carregamentos e conseqüentemente dos máximos esforços internos. Esta

majoração é realizada para garantir possíveis falhas nos cálculos, nos materiais ou em outros fatores que possam influir na segurança da estrutura.

O segundo é a “flexa” máxima admissível para cada tubo, considerando que as vigas estarão sujeitas a ação de esforços de flexão, o eixo longitudinal da seção sairá da sua posição inicial e assumirá uma posição “curvada” formando a “flexa” – deflexão – (v).

Então, chama-se de deflexão, o deslocamento da seção na direção perpendicular à posição inicial do eixo. [9]

Utiliza-se como referência a norma AISE 6/91 (Association of Iron and Steel Engineers) para pontes rolantes quanto ao dimensionamento de vigas estabelecendo a seguinte condição:

$$v = \frac{L}{1000} \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

L = Comprimento da viga; (mm)

4.3.3 – Forças dinâmicas

Como visto na Figura 1 (Página 17), haverá um carro móvel com a prancha onde acomodará a pessoa ao exercitar-se, este, por sua vez, desempenhará os movimentos a seu critério, de acordo com o condicionamento físico do atleta.

Observando uma competição de 100 metros nado borboleta, com atletas masculinos, verificou-se que em uma piscina de 50 metros de comprimento, a prova foi realizada com uma velocidade média (V_m) de 1,81 metros por segundo.

Porventura uma competição com atletas femininas, de 100 metros nado crawl [1], constatou-se que o desempenho foi em média de 1,54 metros por segundo.

Sendo assim, as acelerações médias desempenhadas foram de $0,033 \text{ m/s}^2$ e $0,024 \text{ m/s}^2$ respectivamente, o que para cálculo da estrutura do equipamento não tem influência significativa para inclusão de uma força dinâmica no dimensionamento das vigas.

Então, é desconsiderada a aceleração do carro móvel ao desempenhar o exercício sobre a estrutura.

Para definição dos tubos a serem utilizados, foram realizados alguns estudos em diversas situações que o equipamento poderá ser exigido. Para facilitar este estudo, utilizou-se do programa FTOOL para obter os gráficos de normal (N), cortante (V), momento fletor (M_f) e a deformação da estrutura em cada uma das situações estudadas.

Adotando um material para cada seção e utilizando os resultados das situações propostas é formada uma planilha de cálculo para verificação dos diferentes coeficientes de segurança que deverão ser considerados verificando se as seções atendem às solicitações, abaixo será apresentado o estudo da pior

situação que a estrutura será submetida, os estudos das demais situações podem ser encontrados no anexo 2 desta monografia.

4.3.4 – Situação Crítica: Atleta no centro da viga principal em repouso

Nesta situação, o atleta não está simulando nenhum movimento (esforço), portanto, será considerado apenas o peso dele no centro da estrutura, a viga principal (BC) está inclinada 19° com relação ao piso.

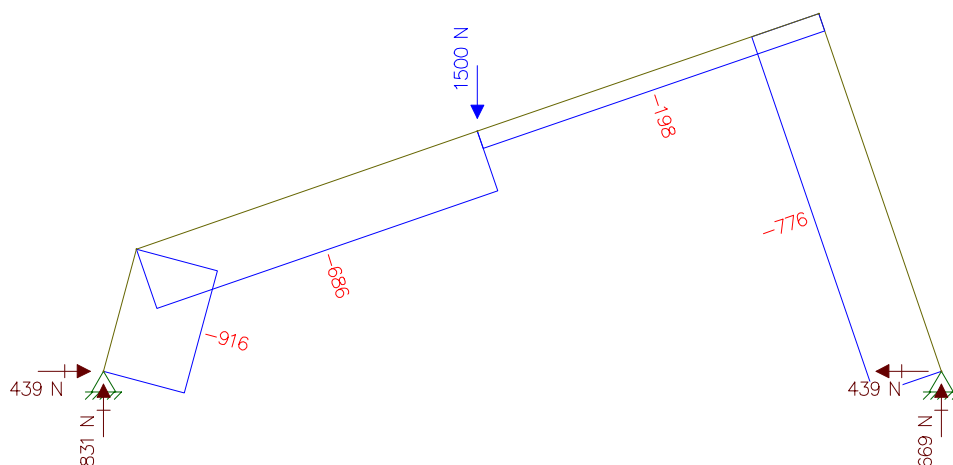


Figura 11: Esforços Normais (N) para Situação Crítica

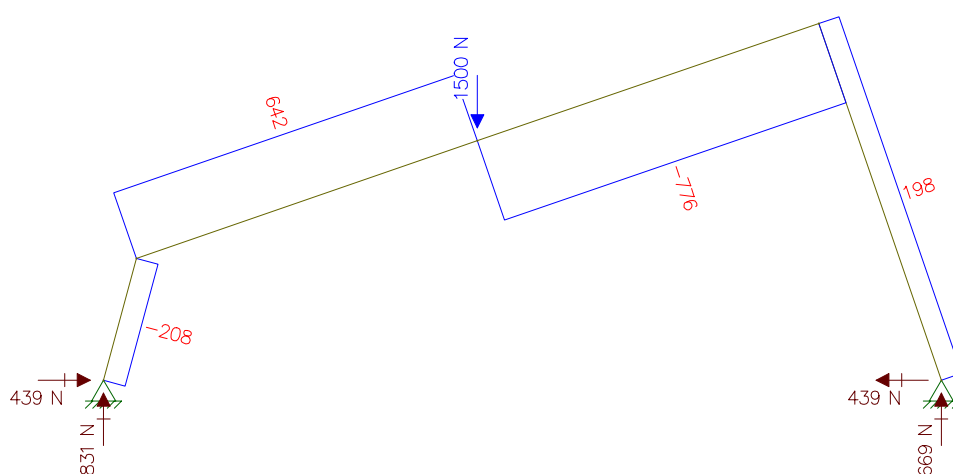


Figura 12: Esforços Cortantes (N) para Situação Crítica

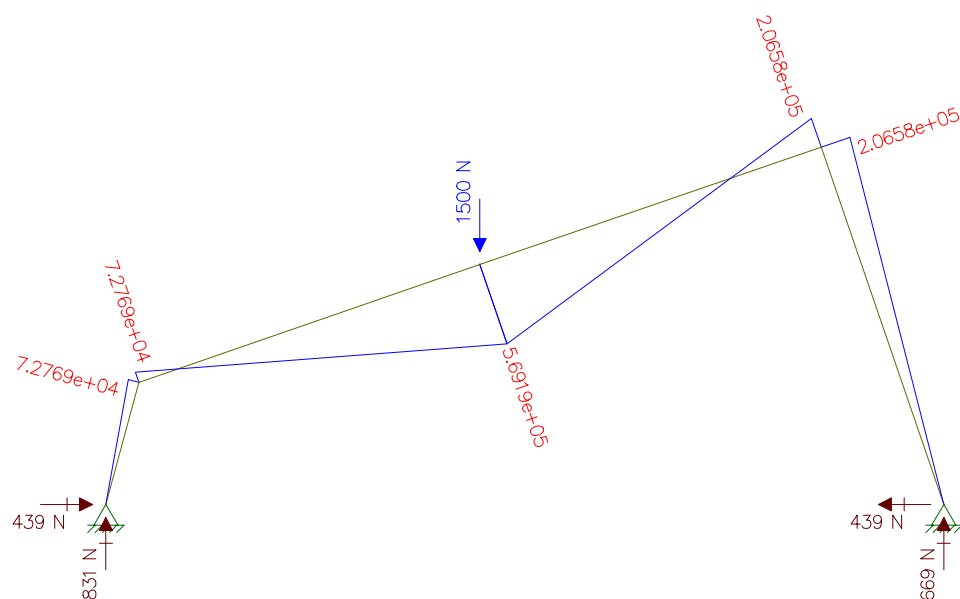


Figura 13: Momentos Fletores (Nmm) para Situação Crítica

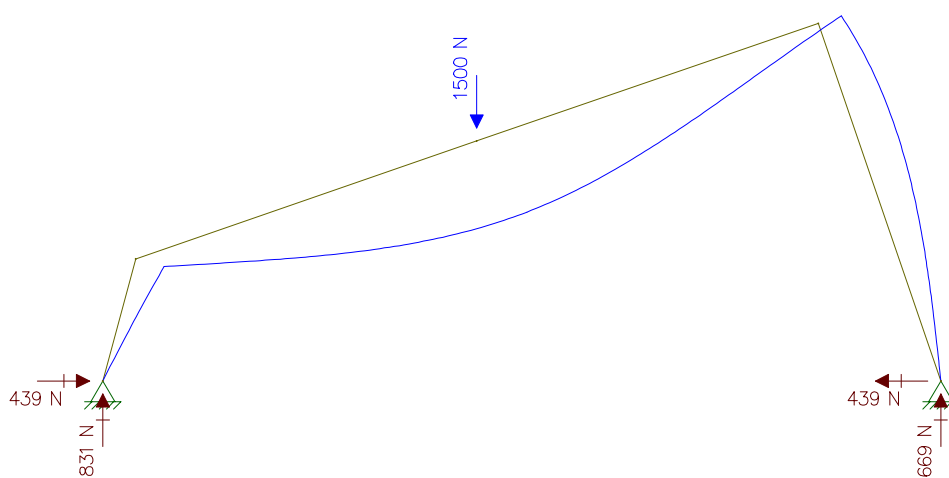


Figura 14: Deformação da Estrutura para Situação Crítica

Tabela 5: Valores Dimensionamento Equipamento na Situação Crítica

Situação Crítica: Atleta no centro da viga principal em repouso								
Comprimentos dos Tubos								
Seção AB		350						mm
Seção BC		2000						mm
Seção CD		1050						mm
Tubo de Seção Quadrada								
		Seção AB		Seção BC		Seção CD		Unid.
		Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	
Altura	h	60	54	40	34	40	34	mm
Base	b	60	54	40	34	40	34	mm
Espessura de parede	e	3	-	3	-	3	-	mm
Área	A	3600	2916	1600	1156	1600	1156	mm²
Área da Seção	As	684		444		444		mm²
Momento de Inércia	Iy	371412		101972		101972		mm⁴
Ponto mais afastado do eixo em que a Seção "gira"	Zt	30		20		20		mm
	Zc	-30		-20		-20		mm
Momento fletor	Mf	72769		569190		206580		Nmm
Tensão Normal	N	-916		-686		-776		N
Máxima Tensão	Máx	4,54		110,09		38,77		N/mm²
Mínima Tensão	Min	-7,22		-113,18		-42,26		N/mm²
Limite de escoamento	Tlim	264		264		264		N/mm²
Coeficiente de Segurança								
Tração		58,17		2,40		6,81		
Compressão		36,58		2,33		6,25		

4.4 – DETERMINAÇÃO DA BARRA TRANSVERSAL

A barra transversal tem função fundamental no equipamento, nela estarão fixadas as polias que por meio de cabos irão permitir a realização dos exercícios.

À distância entre as polias (D) deverá ser próximo da distância entre os ombros do atleta, sendo que esta representa em média 25% da estatura de um indivíduo.[10].

Então:

$$D = 1,82 \times 0,25$$

(Equação 11)

$$D = 0,45m$$

O comprimento da barra adotado então será de 0,75m.

As Figuras (16) e (17) a seguir possibilitam visualizar a força envolvida na barra para possibilitar o seu dimensionamento, a princípio, um tubo metálico comercial de seção circular será utilizado, Figura 15.

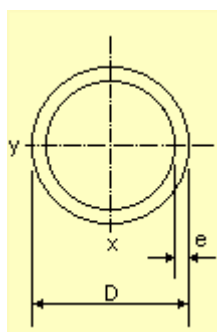


Figura 15: Tubo Metálico de Perfil Circular

A barra não está sujeita a esforços normais, caracterizando então uma flexão simples, a tensão resultante é dada pela equação a seguir:

$$\sigma = \frac{M_f}{I_y} \times Z_{máx} \quad \text{(Equação 12)}$$

Sendo:

σ = Tensão resultante; (Nmm²)

M_f = Momento fletor máximo; (Nmm)

I_y = Momento de inércia da seção; (mm^4)

$Z_{\text{máx}}$ = Maior distância em relação ao eixo em que a seção “gira”; (mm)

Há um $Z_{\text{máx}}$ para tração (Z_t) e compressão (Z_c), a região superior ao eixo y , neste caso, é a região onde atua a tração, e a região inferior é de compressão.

A tensão resultante deve ser menor ou igual à tensão limite de escoamento (Conforme Equação 8 – Pagina 33).

A tensão limite de escoamento é definida como sendo o limite de escoamento (LE) do material dividido pelo coeficiente de segurança (C_s), (Conforme Equação 9 – Pagina 33).

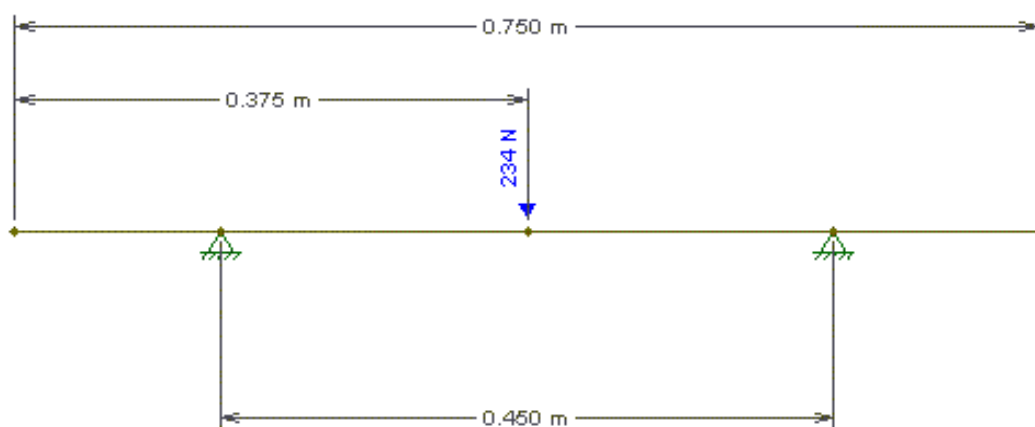


Figura 16: Força resultante na barra transversal – Viga principal com inclinação de 9°.

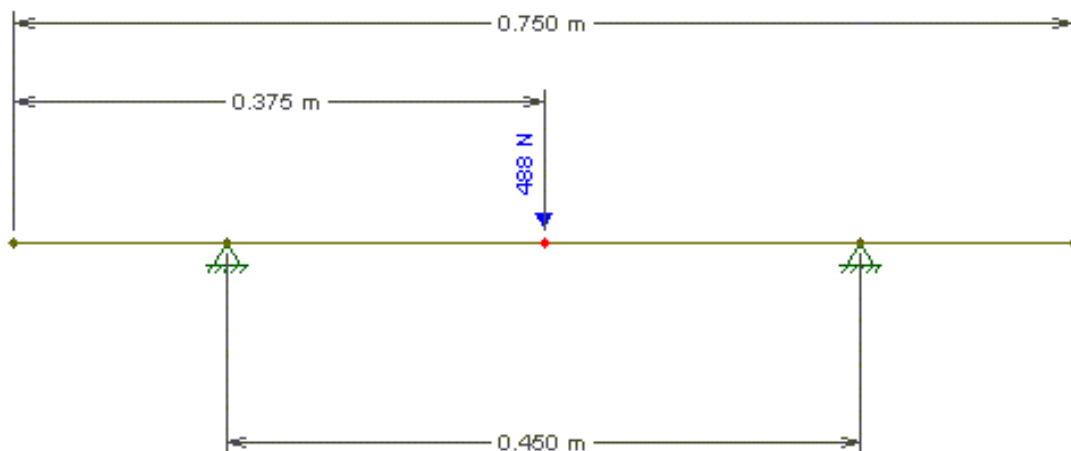


Figura 17: Força resultante na barra transversal – Viga principal com inclinação de 19°.

São considerados dois apoios fixos exatamente na posição de fixação das polias para gerar uma estrutura estável, a força resultante do esforço do atleta nos cabos será concentrada no centro da barra, assim, possibilita a análise do comportamento da barra quando a viga principal estiver com inclinação de 9° gerando uma força resultante de 234 N e com 19° força de 488N obtidas através da equação (1) e (2) página 23.

4.4.1 – Material Utilizado

Segundo norma NBR – 8261 para tubos metálicos estruturais, o material utilizado tem 0,3% de carbono e 0,18% de cobre.

$$Le = 223,69 \text{ N/mm}^2$$

4.4.2 – Critério de Dimensionamento

Para o dimensionamento da barra transversal, será utilizado o mesmo critério utilizado para as vigas principal e de sustentação. (ver pág 33).

Adotando um material para a seção transversal e utilizando os resultados das situações propostas é formada uma planilha de cálculo para verificação dos diferentes coeficientes de segurança que deverão ser considerados verificando se as seções atendem às solicitações.

Duas situações serão estudadas:

Situação 1: - Força resultante na barra transversal quando a viga principal estiver com inclinação de 9° .

Não há esforço normal na barra transversal.

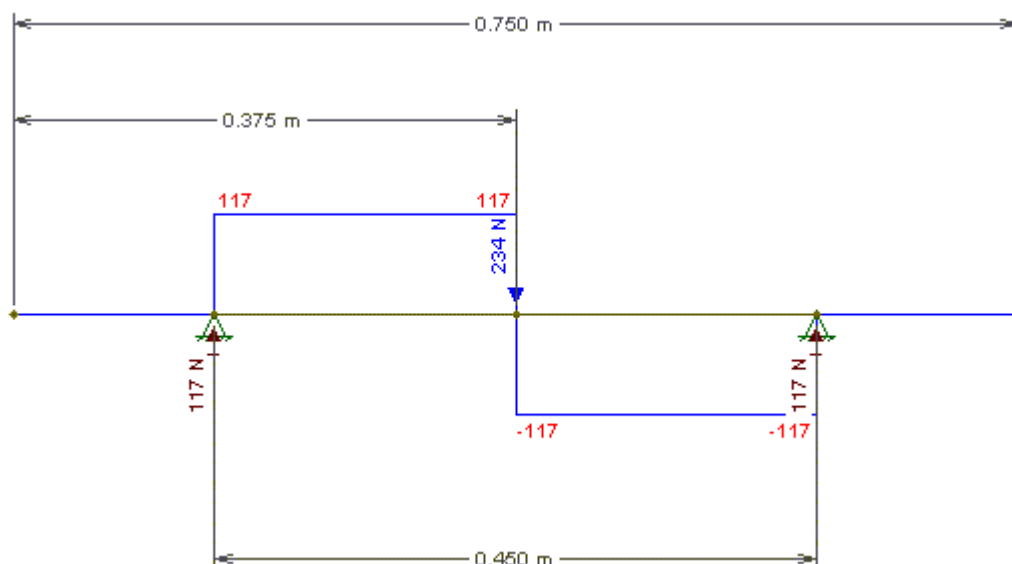


Figura 18: Esforço Cortante para a situação 1

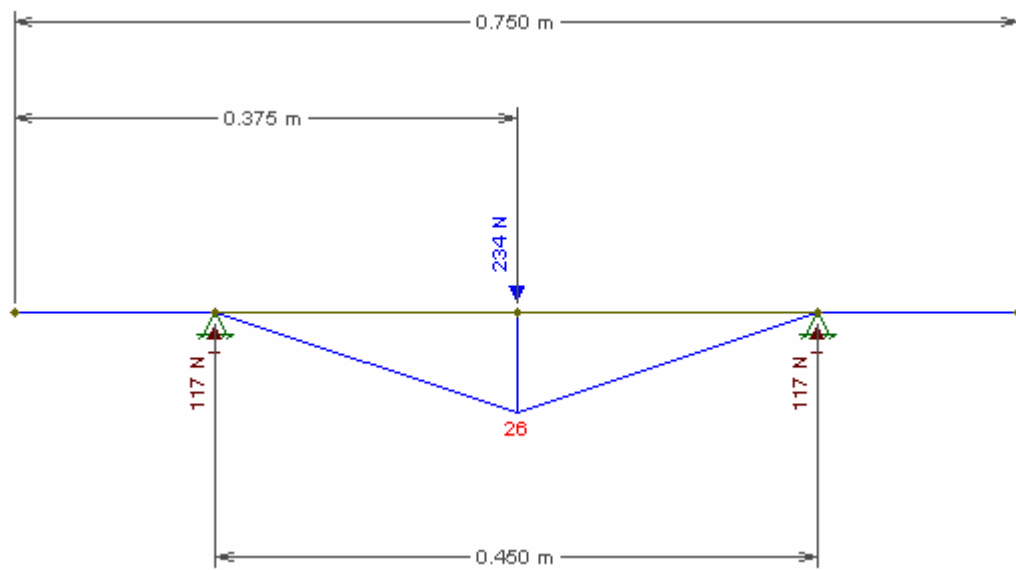


Figura 19: Momento fletor para a situação 1

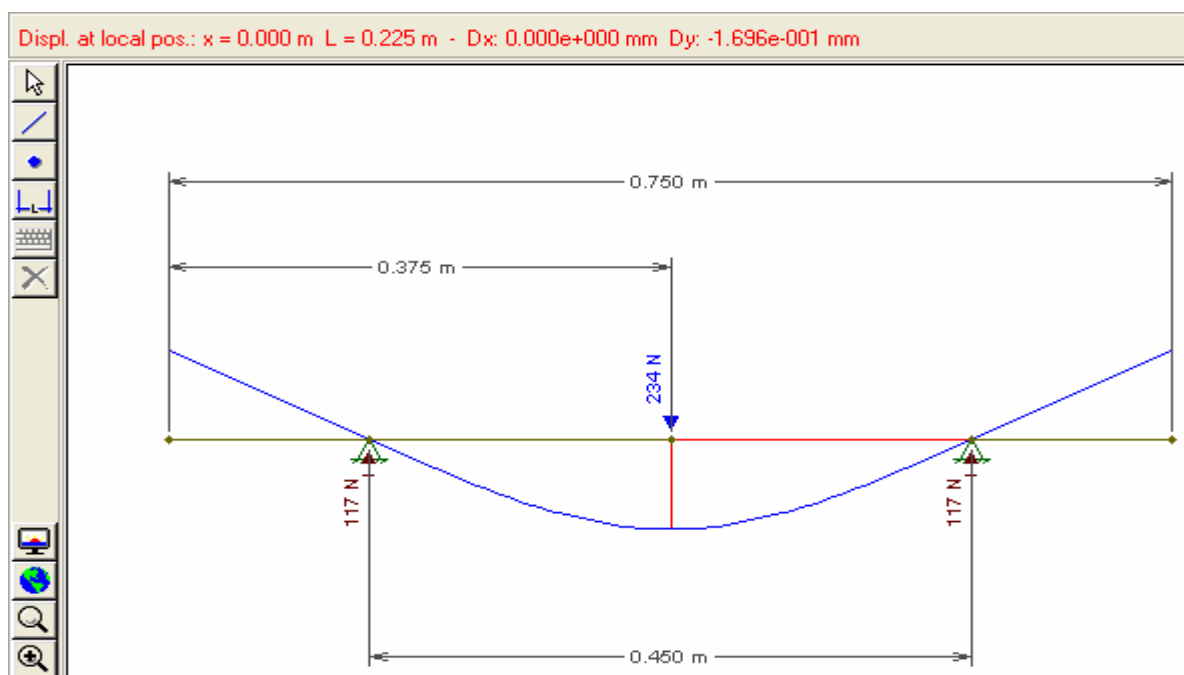


Figura 20: Flexa para situação 1 = 0,17mm.

Tabela 6: Dimensionamento da Barra Transversal – Inclinação 9°

Dimensionamento da Barra Transversal				
Inclinação de 9º na Seção BC				
Tubo de Seção Circular				
		Ext.	Int.	Unid.
Diâmetro	D	25,4	20,1	mm
Espessura de parede	e	2,65	-	mm
Área	A	506,71	317,31	mm²
Área da Seção	As	189,40		mm²
Momento de Inércia	Iy	12419,47		mm⁴
Ponto mais afastado do eixo em que a Seção "gira"	Zt	12,7		mm
	Zc	-12,7		mm
Momento fletor	Mf	26		Nmm
Máxima Tensão	Máx	0,03		N/mm²
Mínima Tensão	Min	-0,03		N/mm²
Limite de Escoamento	Tlim	223,69		N/mm²
Coeficiente de Segurança				
Tração	8413,42			
Compressão	8413,42			

Situação 2: Força resultante na barra transversal quando a viga principal estiver com inclinação de 19° .

Não há esforço normal na barra transversal.

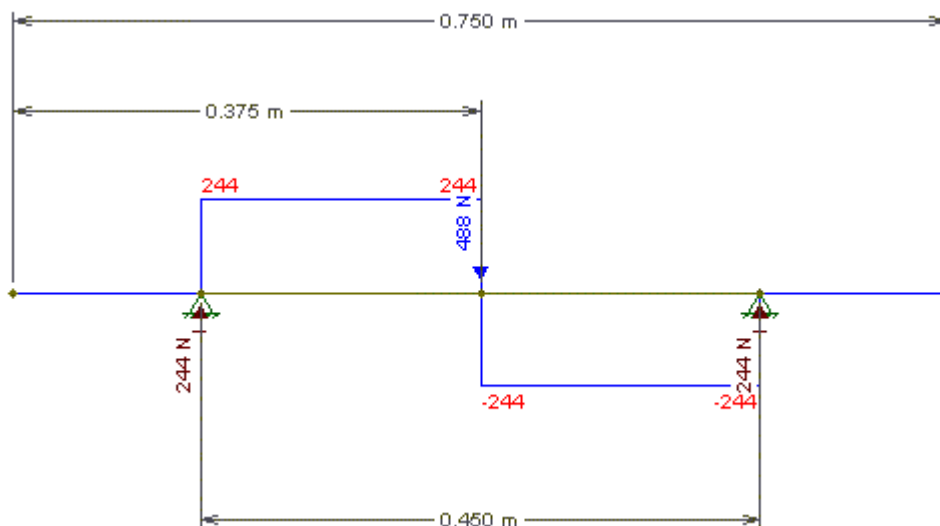


Figura 21: Esforços Cortante para Situação 2

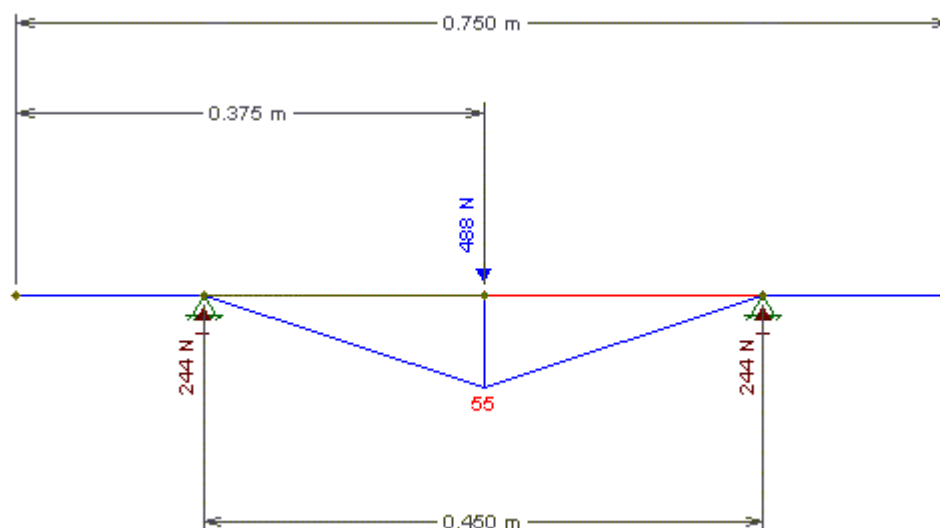


Figura 22: Momentos Fletores para Situação 2

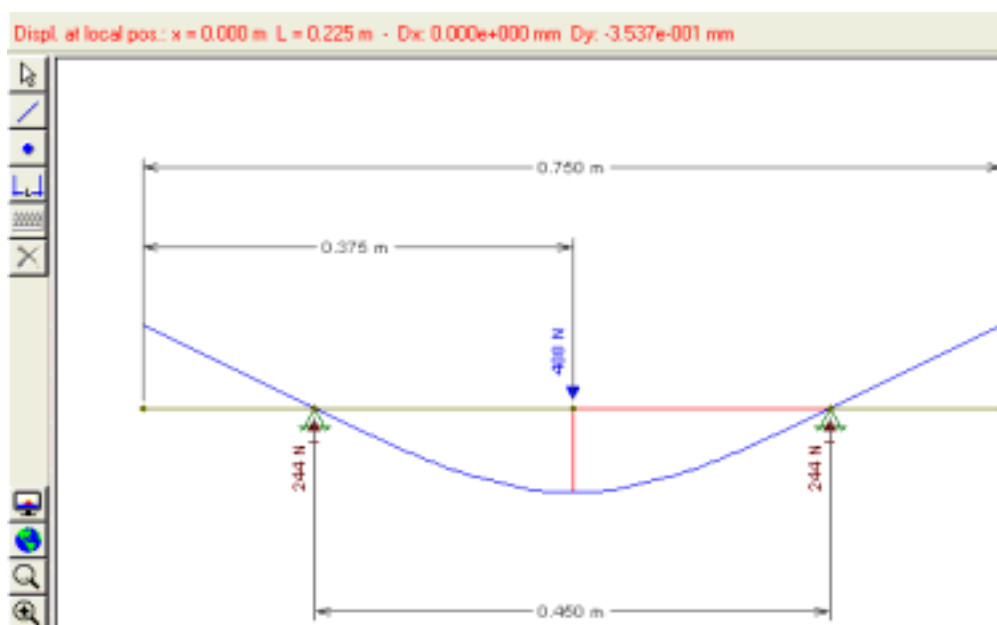


Figura 23: Deflexão “Flexa” para a Situação 2 = 0,35mm

Tabela 7: Dimensionamento da Barra Transversal – Inclinação 19°

Dimensionamento da Barra Transversal				
Inclinação de 19º na Seção BC				
Tubo de Seção Circular				
		Ext.	Int.	Unid.
Diâmetro	D	25,4	20,1	mm
Espessura de parede	e	2,65	-	mm
Área	A	506,71	317,31	mm²
Área da Seção	As	189,40		mm²
Momento de Inércia	Iy	12419,47		mm⁴
Ponto mais afastado do eixo em que a Seção "gira"	Zt	12,7		mm
	Zc	-12,7		mm
Momento fletor	Mf	55		Nmm
Máxima Tensão	Máx	0,06		N/mm²
Mínima Tensão	Min	-0,06		N/mm²
Limite de Escoamento	Tlim	223,69		N/mm²
Coeficiente de Segurança				
Tração	3977,25			
Compressão	3977,25			

As situações 1 e 2 demonstram os resultados obtidos de verificação do coeficiente de segurança e das deflexões “flexas” máximas obtidas com a aplicação dos esforços na barra transversal.

Para o dimensionando da barra principal, a verificação primordial para definição da seção mais adequada, foi à verificação da flexa máxima admissível (Equação 10), pois como se pode observar nas Tabelas 6 e 7 os valores de tensão e momentos são baixos.

4.4 – DETERMINAÇÃO DO CARRO MÓVEL

4.4.1 – Eixos

A Figura 24 representa esquematicamente a construção do carro móvel, que possuirá 4 eixos que utilizarão a viga principal como trilho para movimentação.

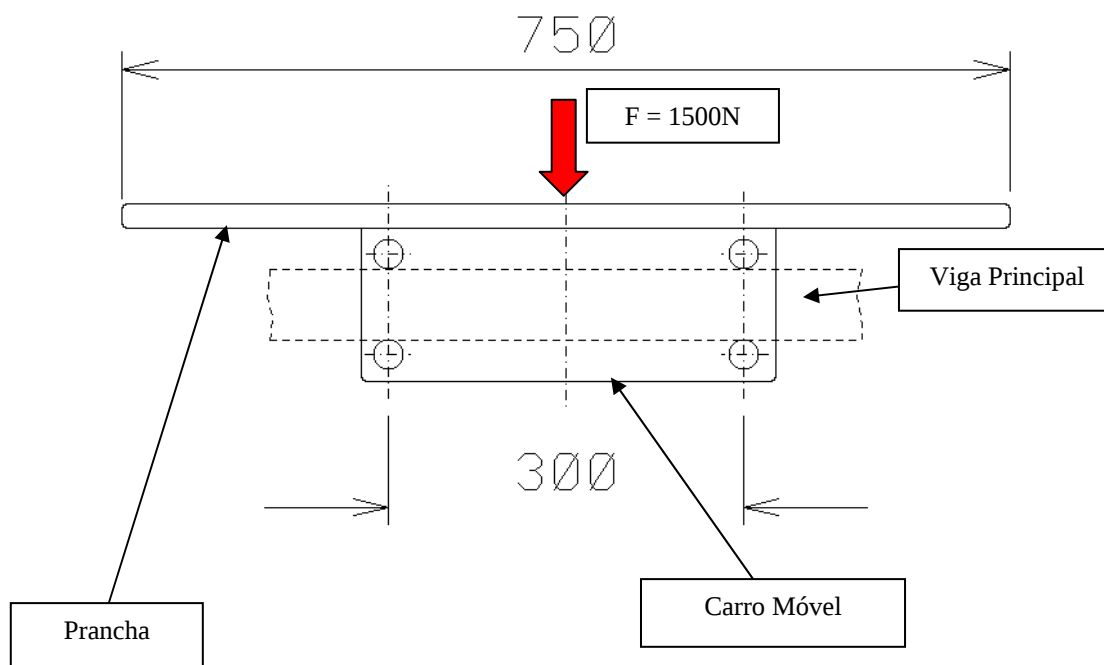


Figura 24: Ilustração Esquemática do Carro Móvel

O dimensionamento dos eixos será efetuado através do dimensionamento das tensões tangenciais.

$$\tau = \pm \frac{Q}{A} \pm \frac{Mt}{W_t} \quad (\text{Equação 13})$$

Como no carro móvel não existirá a presença de momento torçor, logo, a equação acima será simplificada.

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde;

Q = Carga aplicada (N)

A = Área (mm²)

A carga máxima estipulada de 1500N estará sendo dividida por 2 eixos (Q = 750N) que realizarão o movimento, construtivamente, esses eixos não serão maciços, tendo um furo passante de diâmetro 10,5 mm por onde passará um parafuso M10, para a fixação.

Para realização dos cálculos serão adotados os diâmetros interno e externo dos eixos como sendo:

Diâmetro Externo = 25,0mm

Diâmetro interno = 10,5mm

Então:

$$A = \frac{\pi \times De^2}{4} - \frac{\pi \times Di^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi \times 25^2}{4} - \frac{\pi \times 10,5^2}{4}$$

(Equação 15)

$$A = 404,28mm^2$$

Será utilizado o material Nylon 6.6 com tensão limite ao escoamento = 65 (Nmm²)

A tensão admissível é determinada como:

$$\tau_{adm} = \frac{Te}{CS}$$

(Equação 16)

Onde;

Te = Tensão Limite de Escoamento; (Nmm²)

CS = Coeficiente de Segurança; (Adimensional)

Condição

$$\tau \leq \tau_{adm}$$

(Equação 17)

Igualando as equações pode-se obter o coeficiente de segurança.

$$\frac{Q}{A} \leq \frac{Te}{Cs}$$

(Equação 18)

$$CS = \frac{65Mpa \times 404,28mm^2}{750N}$$

$$CS = 35,04$$

4.5 – SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A movimentação do equipamento deverá ser realizada através de cabos de aço e polias. Para isto, deverão existir três polias, sendo duas colocadas na parte frontal do equipamento com distância de 0,45 m e outra fixada na parte inferior do carro móvel onde o atleta estará praticando o exercício. Em conjunto com estas polias existirá um cabo de aço que através da movimentação do atleta, executará o movimento.

Na extremidade deste cabo de aço existirá uma manopla de madeira em cada extremidade fixada por grampo apropriado a fim de evitar ferimentos nas mãos da pessoa que estará executando o exercício. Sendo assim quando o atleta executar o movimento puxando o cabo de aço em sua direção, o carro móvel onde este está posicionado irá para frente e quando o atleta soltar o cabo de aço o carro móvel irá deslizar no sentido contrário estacionando na posição inicial.

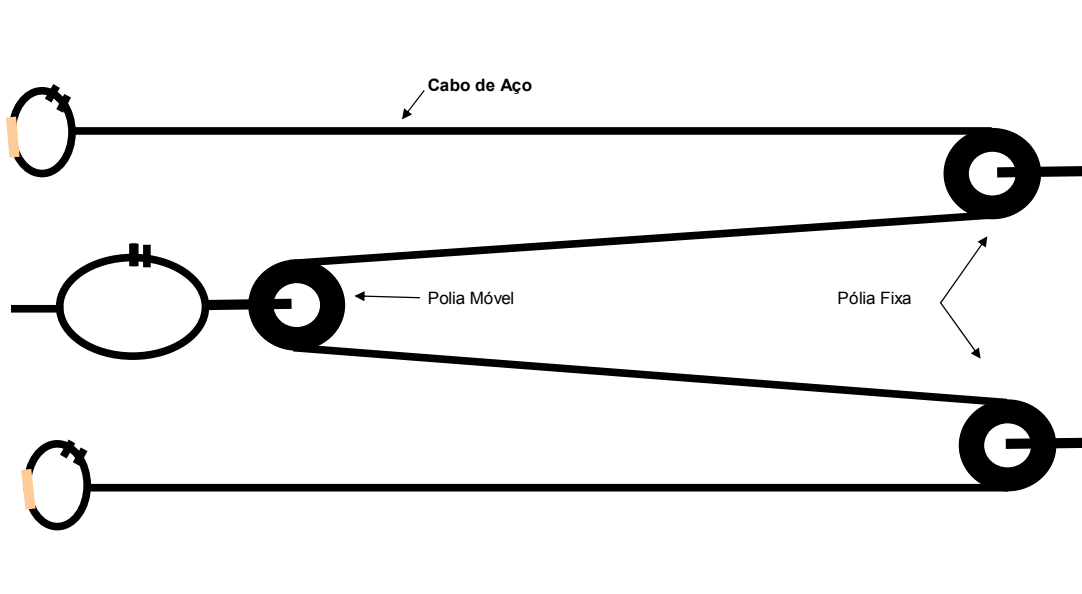


Figura 25: Sistema de Movimentação do Equipamento

4.5.1 – Cabos para Movimentação

Na movimentação deste dispositivo será utilizado cabo de aço. Cabos de aço são elementos flexíveis formados por pernas ou toros, composto de arames de aço de alta resistência, que envolvem um núcleo central chamado alma, constituintes básicos dos aparelhos de suspensão e movimentação de cargas. Para especificá-lo deve ser definido o diâmetro necessário em função da força atuante e sua capacidade de ruptura.

A fórmula para cálculo do diâmetro do cabo de aço é a seguinte: [12]

$$d = k \cdot \sqrt{F} \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

d = Diâmetro do Cabo (mm);

k = coeficiente que depende do grupo da máquina;

F = força atuante no cabo (kgf).

Tabela 8: Coeficiente para Cálculo dos Diâmetros de Cabos, Polias e Tambores [12]

Grupo	Nº Ciclos / hora	k	k ₁	k ₂	k ₃
0	Até 6	0,28	15	16	14
I	De 6 a 18	0,30	18	20	14
II	De 18 a 30	0,32	20	22	15
III	De 30 a 60	0,35	22	24	16
IV	Acima de 60	0,38	24	25	16

Onde;

K = Coeficiente para Cálculo do Diâmetro do Cabo de Aço;

K_1 = Coeficiente para Cálculo do Diâmetro Primitivo do Tambor para Cabo de Aço;

K_2 = Coeficiente para Cálculo do Diâmetro Primitivo da Polia Móvel;

K_3 = Coeficiente para Cálculo do Diâmetro Primitivo da Polia Fixa;

Conforme cálculos efetuados anteriormente (Tabela X), temos que o maior esforço é de 488 N para uma inclinação de 19°. Na Tabela 8 acima, se pode verificar que o coeficiente (k) mais adequado é de 0,38, ou seja, acima de 60 ciclos / hora.

$$k = 0,38;$$

$$F = 488 \text{ N} = 49,75 \text{ kgf.}$$

$$d = 0,38 \cdot \sqrt{49,75} = 2,68 \text{ mm} \quad (\text{Equação 19})$$

Além do cálculo do diâmetro, deve-se verificar a carga de ruptura do cabo com os fatores de segurança. Em geral, a carga atuante em um cabo não deve exceder um quinto da carga de ruptura do mesmo. Para determinação da capacidade do cabo será utilizada a seguinte equação: [12]

$$C = F \cdot s \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

C = Capacidade do Cabo (Carga de Ruptura); (kgf)

F = Força atuante no cabo (kgf);

s = Fator de segurança; (Adimensional)

Tabela 9: Coeficiente de Segurança para Cabos de Aço [12]

Aplicações	Fator de Segurança (s)
Cabos e Cordoalhas Estáticas	3 e 4
Cabo para Tração Horizontal	4 e 5
Guinchos	5
Guindastes, Pás, Escavadeiras	5
Pontes Rolantes	6 a 8
Talhas Elétricas e Outras	7
Guindastes Derricks	6 a 8
Elevadores de Baixa Velocidade (Carga)	8 a 10
Elevadores de Alta Velocidade (Passageiros)	10 a 12

Para execução dos cálculos da capacidade do cabo tem-se:

$$F = 488 \text{ N} \rightarrow F = 49,75 \text{ kgf};$$

$$s = 4$$

$$C = 49,75 \times 4$$

$$C = 199 \text{ kgf}$$

(Equação 20)

Com os valores encontrados de diâmetro e capacidade, foi realizada uma pesquisa para determinação do cabo de aço ideal para o equipamento.

Tabela 10: Tabela Parcial de Cargas de Ruptura para Cabos de Aço – Siva [14]

Diâmetros		Cargas de Ruptura (I. P. S.) em kgf			
		6 x 7		6 x 19 / 6 x 25 / 6 x 41	
Polegadas	Milímetros	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI
1/16"	1,60	176	190		
5/64"	2,00	240	259		
3/32"	2,40	340	365		
1/8"	3,20	600	646	620	660
5/32"	4,00	959	1040		
3/16"	4,80	1347	1449	1398	1500
1/4"	6,40	2388	2571	2480	2663
5/16"	8,00	3837	4153	387	4153

AF/AFA = Alma de fibra, maior flexibilidade e menor resistência à tração;

AA/AACI = Alma de aço, menor flexibilidade e maior resistência à tração;

I. P. S. = Resistência à tração de 180 / 200 Kgf/mm²;

00x00 = Designação 2 primeiros dígitos nº de pernas e dois últimos nº arames por pernas.

6x7 = Cabo de aço formado por seis pernas, cada uma com seis arames ao redor de um arame central. Devido ao pequeno número de fios por perna (7), encontramos fios relativamente grossos, o que torna o cabo bastante resistente à abrasão, não sendo, porém, recomendado para aplicações onde se necessita uma maior flexibilidade;

6x19 = Cabo de aço formado por seis pernas, cada um com 19, 21 ou 25 arames. É o mais utilizado de todos os tipos, por ser resistente à abrasão e ao mesmo tempo bastante flexível.

Baseado na Tabela 10 com relação à carga de ruptura de 199kgf e o diâmetro calculado de 2,68mm, deve ser utilizado um cabo 6x19 de diâmetro de 1/8" ou 3,20mm que tem resistência de 620kgf. Porém a fim de ter um cabo de aço padronizado e ao mesmo tempo uma polia de acordo com grupo IV da Tabela 8, o cabo que deverá ser utilizado será do tipo 6x19 de diâmetro 1/4" ou 6,40mm. O comprimento do cabo será dimensionado após cálculo das polias.

O cabo de aço que será utilizado é o cabo de aço modelo 6x19 tipo AF/ AFA, diâmetros de 1/4" I. P. S. com carga de ruptura de 2480kgf. As pontas do cabo de aço serão fixados a madeira com dois grampos apropriados. [12]

Para fixação da polia localizada na parte inferior do suporte móvel será utilizado um cabo de aço de mesmo material em forma de anel fixado também com dois grampos com 0,50 m de comprimento.

4.5.2 – Polias para Movimentação

Polia é uma roda que pode girar em torno de um eixo, tendo um sulco pelo qual passa uma corda ou cabo de aço. As polias devem ter o diâmetro adequado ao diâmetro dos cabos e são feitas geralmente em fundição, com roda acanalada, para evitar que a corda ou cabo saia no momento da movimentação. O contato transversal entre cabo e polia deve ter no mínimo, 120°, o que determina um ângulo máximo de abertura das gargantas de 60° e um raio de fundo igual ao do cabo. Mas, para evitar que se prenda na garganta, aumenta-se o raio em torno de 5% do valor citado. A profundidade da garganta é feita um pouco maior que o diâmetro do cabo.

No dimensionamento deste dispositivo serão utilizadas três polias, sendo duas fixas na barra frontal e uma móvel colocada na parte inferior do carro de movimentação sendo calculada conforme equações a seguir. [12]

$$D_{pm} = k_2 \times d \quad \text{(Equação 21)}$$

$$D_{pf} = k_3 \times d \quad \text{(Equação 22)}$$

Onde:

D_{pm} = Diâmetro Primitivo da Polia Móvel; (mm)

D_{pf} = Diâmetro Primitivo da Polia Fixa; (mm)

k_2 / k_3 = Coeficiente que Depende do Grupo da Máquina (Tabela 8);

d = Diâmetro do Cabo de Aço. (mm)

Para o cabo de aço determinado anteriormente temos:

$$d = 6,40 \text{ mm} \quad k_2 = 25 \quad k_3 = 16$$

$$D_{pm} = 25 \times 6,40 = 160,0 \text{ mm} \quad \text{(Equação 21)}$$

$$D_{pf} = 16 \times 6,40 = 102,4 \text{ mm} \quad \text{(Equação 22)}$$

Tabela 11: Desenho das Polias – Parcial [12]

Coroa da Polia						
r	h	b		Polia de Cabo G 1-4		
				D ₁ Série		Diâm.Cabo
		fofo	aço	I	II	
2,5	10	18	18	100	125	5
3,2	12,5	22	22	125	160	5 a 6,5
4	15	28	28	160	200	6 a 8
5	17,5	32	32	200	250	6 a 10
6,3	20	39	36	250	315	9 a 13

- r = Raio no Interior da Polia;
h = Altura do local onde fica localizada o cabo de aço até extremidade da polia;
b = Distância entre extremidades superior onde está o cabo de aço;
D1 = Diâmetro primitivo da polia;
G 1-4 = Grupos para dimensionamento dos cabos e polias (Tabela 3.3.3.11);
Aço = Tipo de material da polia - aço;
Fofo = Tipo de material da polia – ferro fundido.

Baseado na Tabela 11, a polia móvel que deverá ser utilizada levando em consideração o diâmetro do cabo e valor do D_{pm} calculado será a de aço com diâmetro de 160 mm; $r = 4$; $h = 15$ e $b = 28$.

Para a polia fixa onde o valor de D_{pf} foi de 102,4 mm, a polia que será utilizada é a de aço com diâmetro de 125 mm; $r = 3,2$; $h = 12,5$ e $b = 22$.

O comprimento do cabo de aço necessário no equipamento deverá ser: 2 vezes à distância do meio do carro móvel até extremidade da barra BC ($1,25 + 1,25$ m), mais 2 vezes diâmetro das polias fixas ($0,125 + 0,125$ m), mais 1 vez o diâmetro da polia fixa ($0,16$ m) e mais 2 vezes trecho para que seja possível manuseio do atleta quando do carro móvel em posição inicial ($0,20 + 0,20$ m); ou seja 3,31 m que será arredondado para 3.30 m.

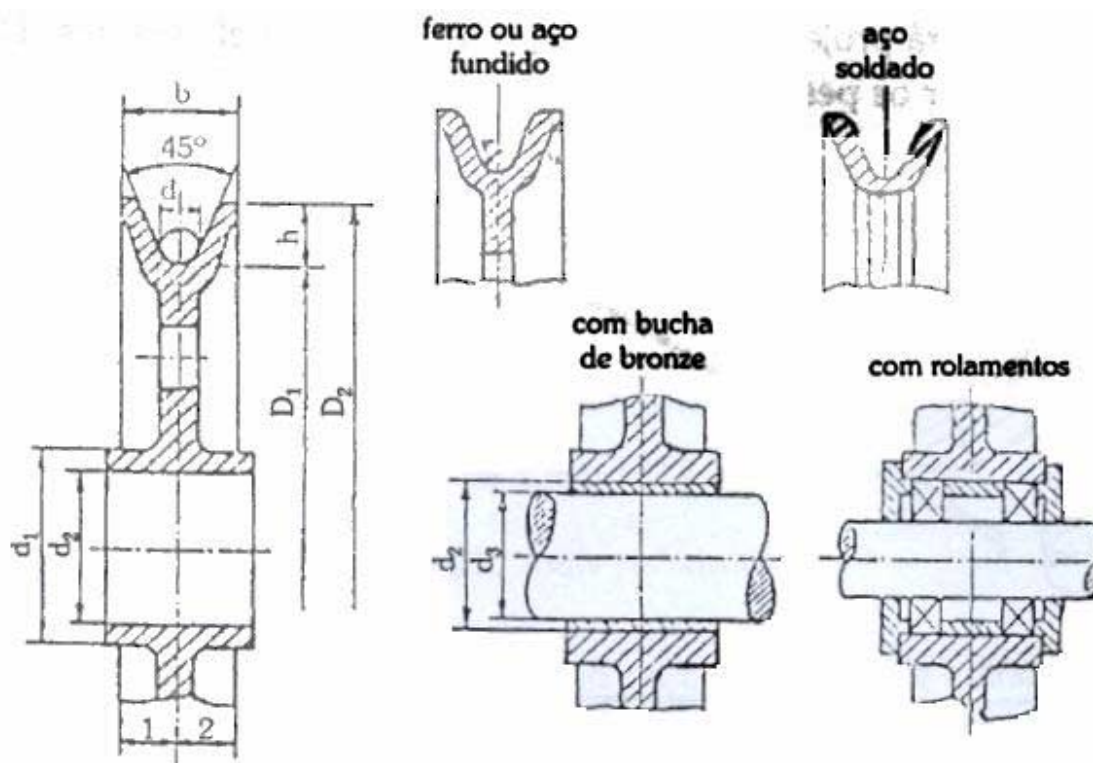


Figura 26: Polia para Cabos de Aço

4.6 – FIXAÇÃO DOS COMPONENTES

Existe uma infinidade de itens fixadores destinados a uniões de peças. Para união entre as diferentes barras do projeto, serão utilizados parafusos. Os parafusos são barras redondas roscadas, usado para unir duas ou mais peças de modo que possam ser montadas e desmontadas com relativa facilidade. A junção de peças por meio de parafusos é vantajosa, pois permite a manutenção e oferece várias formas de utilização, como transmissão de forças, ajustagem, movimentação, etc. Os parafusos que devem ser utilizados neste dispositivo são parafusos com cabeça e somente rosca na ponta, ou seja, o corpo permanece liso. Na extremidade dos parafusos serão utilizadas porcas que são peças com um furo central roscado, cuja rosca coincide com a rosca do parafuso e uma superfície externa adequada para ser apertada por meio de uma chave apropriada; a altura é proporcional à rosca, sendo aproximadamente igual ao diâmetro externo da mesma, nos casos mais comuns. As peças que serão unidas são simplesmente perfuradas com furos passantes que

recebem o parafuso de um lado e a porca do outro se aplicando um torque na porca para fixação. Para evitar que a porca danifique a superfície da peça, para aumentar a superfície de aperto e também evitar o afrouxamento, intercala-se uma arruela de pressão entre a porca e a peça. Esta arruela de pressão tem a função de agir como uma mola, mantendo pressionados os filetes das rocas do parafuso e da porca.

No equipamento que está sendo projetado, será colocada uma união entre as barras AB / BC e entre as barras BC/ CD e em cada extremidade destas uniões será utilizado um parafuso com porca. A barra CD terá um parafuso passante a fim de permitir a inclinação do dispositivo. A barra frontal onde estão localizadas as polias será fixada ao restante do equipamento através de dois parafusos na união entre barras BC / CD. As barras verticais serão fixadas aos pés do dispositivo através de solda.

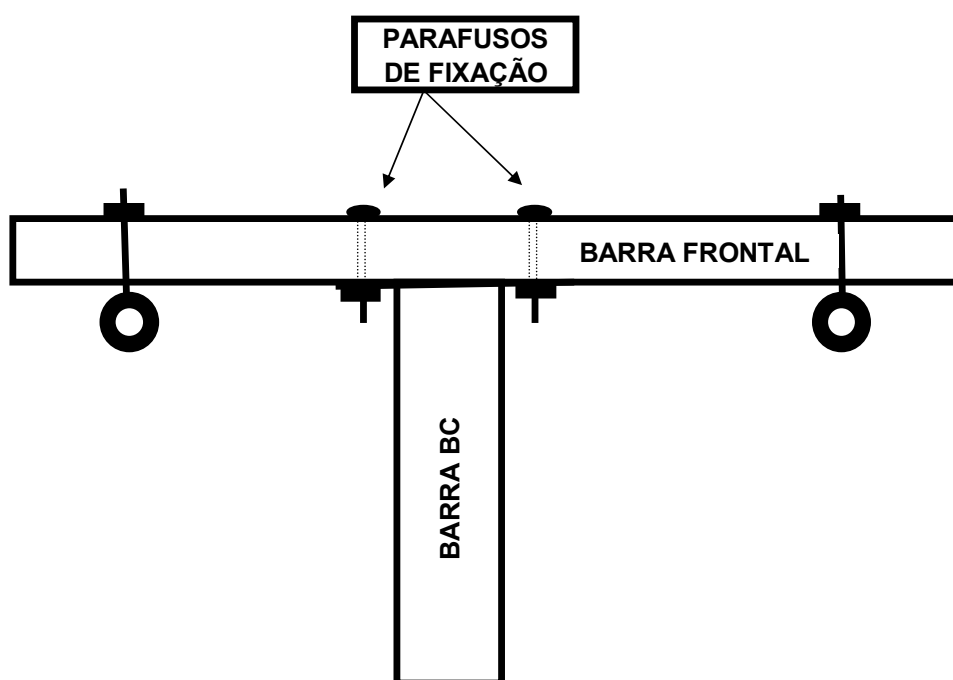


Figura 27: Esboço da fixação da barra frontal

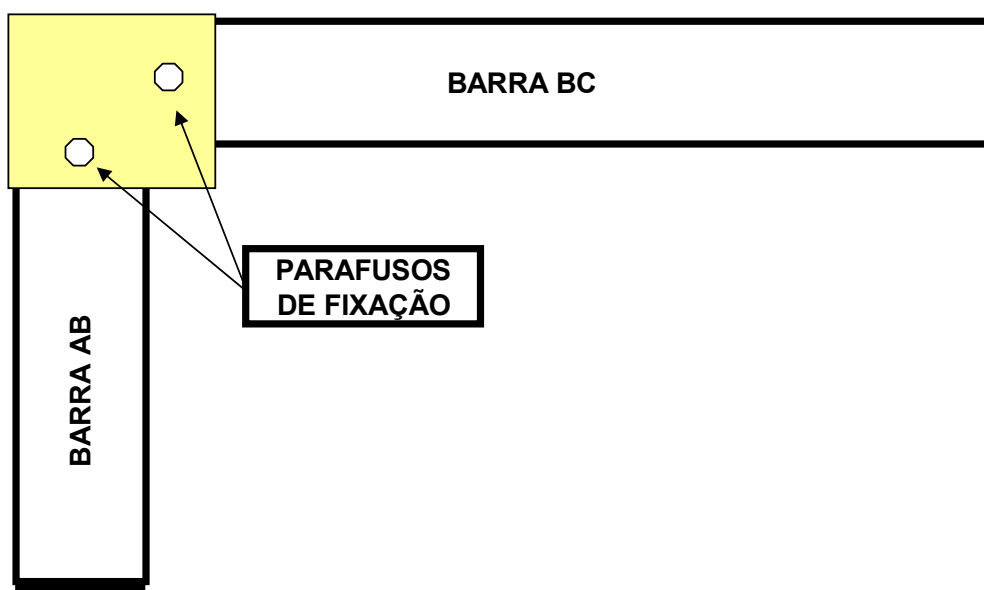


Figura 27: Esboço da Fixação entre as Barras AB / BC

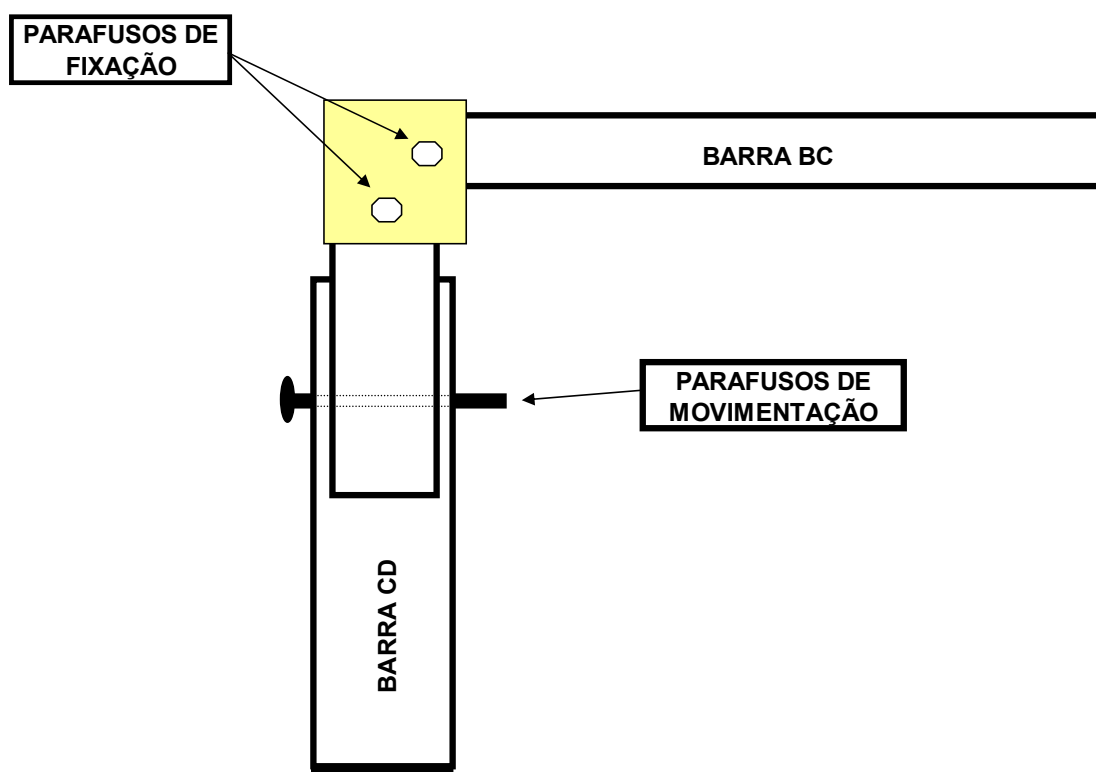


Figura 28: Esboço da fixação entre barras BC / CD

4.6.1 – Dimensionamento dos Parafusos

No dispositivo que está sendo projetado serão utilizados parafusos solicitados por cargas transversais (cisalhamento). Estes parafusos são dimensionados para trabalhar à tração, porém poderão trabalhar também ao cisalhamento. Na determinação do diâmetro destes parafusos temos a seguinte equação:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi X \tau}} \quad (\text{Equação 23})$$

Onde;

- Q = Carga Cortante de Cisalhamento; (N)
 d = Diâmetro Externo da Rosca;
 X = Tensão Admissível do Material do Parafuso;

A seguir encontra-se a Tabela 12 com os valores de forças cortantes em algumas situações estudadas, todos os estudos indicados na Tabela 5 podem ser encontrados nos anexos (Anexo 2):

Tabela 12: Resumo Forças Cortantes nas Barras do Dispositivo

Situação	Posição Atleta na viga	Repouso ou C/ Exerc.	Ângulo de Inclinação	Forças Cortantes (em N)			
				Barras do Dispositivo			
				AB	BC/Tras	BC/Diant	CD
1	Centro	Repouso	9°	754	595	595	746
2	Extrem.			1500	98	98	63
3	Centro	Exercício		826	773	232	711
4	Extrem.			1500	276	232	37
5	Centro	Repouso	19°	831	473	473	669
6	Extrem.			1500	63	63	59
7	Centro	Exercício		1051	869	462	159
8	Extrem.			1500	459	462	159

BC / Tras = Barra BC, extremidade entre barras AB/ BC;

BC / Diant = Barra BC, extremidade entre barras BC/ CD;
 C/ Exerc. = O atleta está executado exercícios no aparelho.

Para cálculo da tensão admissível do material do parafuso se utilizou os valores do aço SAE 1020L [12] com limite de escoamento máximo de 21 kgf/mm². Também foi utilizado o coeficiente de segurança de 4 seguindo mesmo critério utilizado para cálculo das polias. Sendo assim temos:

$$\tau = \frac{\sigma_e}{s} \Rightarrow \frac{21}{4} = 5,25 \text{ kgf} / \text{mm}^2 \quad (\text{Equação 24})$$

Onde;

t = Tensão Admissível do Material do Parafuso;
 σ_e = Tensão de Escoamento do Material do Parafuso;
 s = Coeficiente de segurança;

Com os valores das forças cortantes e da tensão admissível é possível determinar os valores dos diâmetros dos parafusos como segue exemplo:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 153}{\pi \times 5,25}} = 6,10 \text{ mm} \quad (\text{Equação 24})$$

Com o valor do diâmetro do parafuso calculado é possível utilizar a Tabela x para determinar o tipo de parafuso de rosca métrica. [13]

Tabela 13: Determinação dos Parafusos do Dispositivo

Barra	Forças Cortantes		Diâmetro encontrado mm	Parafuso rosca métrica (série 1)
	N	Kgf		
AB	1500	153	6,1	M8 x 1,0
BC / Trans.	869	89	4,6	M5 x 0,5
BC / Diant.	473	48	3,4	M4 x 0,5
CD	746	76	4,3	M6 x 0,75

O comprimento será dimensionado para barras de maior largura, ou seja, 60mmx60mm com espessura de 3,00mm. Como a barra com maior largura terá 60mm, a porca terá largura de 6,5mm e a arruela terá espessura de 2,0mm teremos comprimento mínimo necessário de 68,5 mm, porém a fim de termos um maior segurança será utilizado parafusos com comprimento de 80 mm. A fim de padronizarmos os parafusos nas barras, serão utilizados em todas as uniões das barras os mesmos parafusos. Baseado nos cálculos efetuados deveria ser utilizado parafuso M8X1, porém para o comprimento de 80 mm esta dimensão não está padronizada. Sendo assim o parafuso M10X1 série 1 atende tanto o dimensionamento calculado quanto a padronização do comprimento e deverá ser utilizado juntamente com porcas e arruelas de pressão com mesmos diâmetros.

A barra central onde estão localizadas as roldanas deverá ser fixada ao restante do dispositivo por meio de dois parafusos. A barra utilizada será redonda com diâmetro de 1" e espessura de 2,65 mm. Sofrerá um esforço de 488 N. Utilizando as mesmas equações que foram dimensionados os demais parafusos temos:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 49,75}{\pi \times 5,25}} = 4,1 \text{ mm} \quad (\text{Equação 24})$$

Parafuso M6x0,75 com comprimento 50 mm.

A barra CD, receberá a colocação de um parafuso sem porca ou arruela que terá a função de regular a inclinação do dispositivo na realização dos exercícios. Para isso têm-se duas barras se sobrepondo, sendo uma delas de 40x40mm com espessura de 3,00mm e outra 10 mm maior com mesma parede. Já houve o dimensionamento anterior da barra CD que apresentava uma força cortante de 746 kgf e deveria utilizar um parafuso no mínimo M6x0,75 porém foi utilizado parafuso M10x1 em função da não padronização do comprimento. Sendo assim será utilizado o mesmo parafuso, porém com comprimento de 100 mm. Para verificação se a

tensão de compressão entre a peça “macho” e o parafuso, será utilizado a seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{b \times d} \Rightarrow \frac{76}{60 \times 10} = 0,13 \text{ kgf} / \text{mm}^2 \quad (\text{Equação 25})$$

Verificação se a tensão de compressão entre a peça fêmea e o parafuso será utilizado a seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{2 \times a \times b} \Rightarrow \frac{76}{2 \times 10 \times 70} = 0,05 \text{ kgf} / \text{mm}^2 \quad (\text{Equação 26})$$

Onde;

- σ = Tensão de compressão;
- F = Força cortante;
- a = Abertura interna do tubo externo (distância entre paredes);
- b = Diâmetro do parafuso;
- d = Abertura interna do tubo interno (distância entre paredes).

Como os valores encontrados nas duas equações anteriores estão bem abaixo do valor do limite de escoamento do material do parafuso, este está bem dimensionado.

A polias fixas deverão estar presas na barra frontal também com parafusos com porca e arruela de pressão. Para dimensionamento da rosca correta será utilizada a mesma equação que atende tanto esforços de tração, como é o caso das polias, quanto esforço cisalhante. Sendo assim para uma força que já foi utilizada no cálculos das polias de 49,75 kgf, mesmo material dos parafusos anteriores ou seja, σ_e de 21 kgf/mm² e coeficiente de segurança de 4 temos:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 49,75}{\pi \times 5,25}} = 4,1 \text{ mm} \quad (\text{Equação 24})$$

Parafuso M6x0,75

O comprimento deste parafuso deverá ser maior do que o diâmetro da barra que está dimensionada em 1" ou 25,4 mm tendo também as dimensões tanto da porca (6,5 mm) quanto da arruela de pressão (2,0 mm). Sendo assim o parafuso deverá ter comprimento de no mínimo 34 mm. Para termos uma maior segurança será adotado comprimento padronizado de 50 mm.

Tabela 14: Resumo dos Parafusos que Deverão ser Utilizados no Equipamento

Tipo de Parafuso (série 1)	Comprimento (mm)	Quantidade de peças	Local de Utilização
M10x1	80	4	Barras AB / BC / CD
M6x0,75	50	2	Barra Frontal
M10x1	100	1	Regulagem Inclinação
M6x0,75	50	2	Polias Fixas

Série 1 – rosca métrica comum

CAPITULO 5 – CONCLUSÃO

Neste projeto, o estudo e comparação realizados sobre as propriedades físicas da água e seus efeitos sobre a fisiologia do atleta, mesmo sendo diferentes quando o mesmo está fora da água, mostrou que existe uma adaptabilidade inerente ao ser humano quanto ao exercício de natação em um dispositivo que visa aumentar o seu desempenho para competição.

As diferentes situações estudadas foram suficientes para dimensionar este equipamento ergonômico, obtendo assim uma estrutura com coeficiente satisfatório para realização do exercício a que se propõe, minimizando os esforços solicitantes nas seções tubulares bem como a deflexão na viga principal, maximizando a estabilidade de todo equipamento e minimizando o custo para a elaboração do mesmo.

A determinação das seções tubulares sob ação de flexão composta, bem como a determinação do perfil a ser utilizado para sua elaboração (*Tubo Metálico de Perfil Quadrado*), ponto de elevada importância, foi justamente realizada com a determinação do material empregado para o mesmo.

Certos da possibilidade de utilização de programas de cálculos de “Elementos Finitos” e da precisão dos mesmos, realizou-se neste estudo, o dimensionamento com métodos mais acadêmicos, e certamente não menos precisos, que foram ensinados no curso de graduação de Engenharia Industrial Mecânica desta Universidade.

Muito mais do que os cálculos realizados demonstrou-se neste projeto de graduação, a importância da conscientização teórica para realização de um equipamento mecânico com finalidades práticas, bem como trouxe a seus realizadores a satisfação que estes ensinamentos teóricos obtidos e os raciocínios



científicos realizados os enriqueceu intelectualmente nesta seqüência de desafios que foram surgindo no desenvolvimento e realização de tal projeto.

CAPITULO 6 – BIBLIOGRAFIA

1 – PALMER, Mervyn L. A ciência do ensino da natação. 2º Edição. São Paulo: Editora Manole. 1992

2 – MASSAUD, Marcelo Garcia & CORRÊA, Célia Regina Fernandes. Natação. 1º Edição. Rio de Janeiro: Editora Sprinto LTDA. 2001.

3 – CECIL. Tratado de Medicina Interna. 12º Edição. Rio de Janeiro: ELSEVIER Editora LTDA. 2004.

4 – TIPLER, Paul A. Física, Vol 1. 4º Edição. Rio de Janeiro: LTC, Livros técnicos e Científicos. 2000. p. 105-109.

5 – SÜSSEKIND, José Carlos. Curso de Análise Estrutural, Vol 1. 3º Edição. Porto Alegre: Editora Globo. 1979.

6 – BEER, Ferdinand. Resistência dos materiais. 3º Edição. São Paulo: Makron, 1995. Apêndice B.

7 – VALDIVIESO, Fernando Navarro Valdivieso. Treinamento fora d'água. <http://www.webswimming.cjb.net/> (12/2005).

8 – FTOLL – Two Dimensional Frame Analysis Tool. Versão 2.11. Rio de Janeiro: Puc Rio. 2002. www.tecgraf.puc-rio.br/ftool (12/2005).

9 – BEER, Ferdinand P. & JOHNSTON, E. Russell Jr. 5º Edição. São Paulo: 1994, Makron Books do Brasil LTDA.

10 – LIDA, Itiro – Ergonomia, projeto e produção. 7º Edição. São paulo: 1990, Editora Edgard Blücher.

11 – VALDIVIESO, Fernando Navarro, PhD. TREINAMENTO MUSCULAR FORA DA ÁGUA. <http://www.webwimming.cjb.net> (12/2005).

12 – FREIRE, Marcos A. C., ANTUNES, Izildo, Mecânica – Elementos de Máquinas, 2000/99/98, Editora Érika;

13 – PARETO, Luis, Formulário Técnico Elemento de Máquinas, Editora Hemus;

14 – SIVA, Cabos de Aço, Catálogo Técnico, <http://www.siva.com.br> (12/2005).

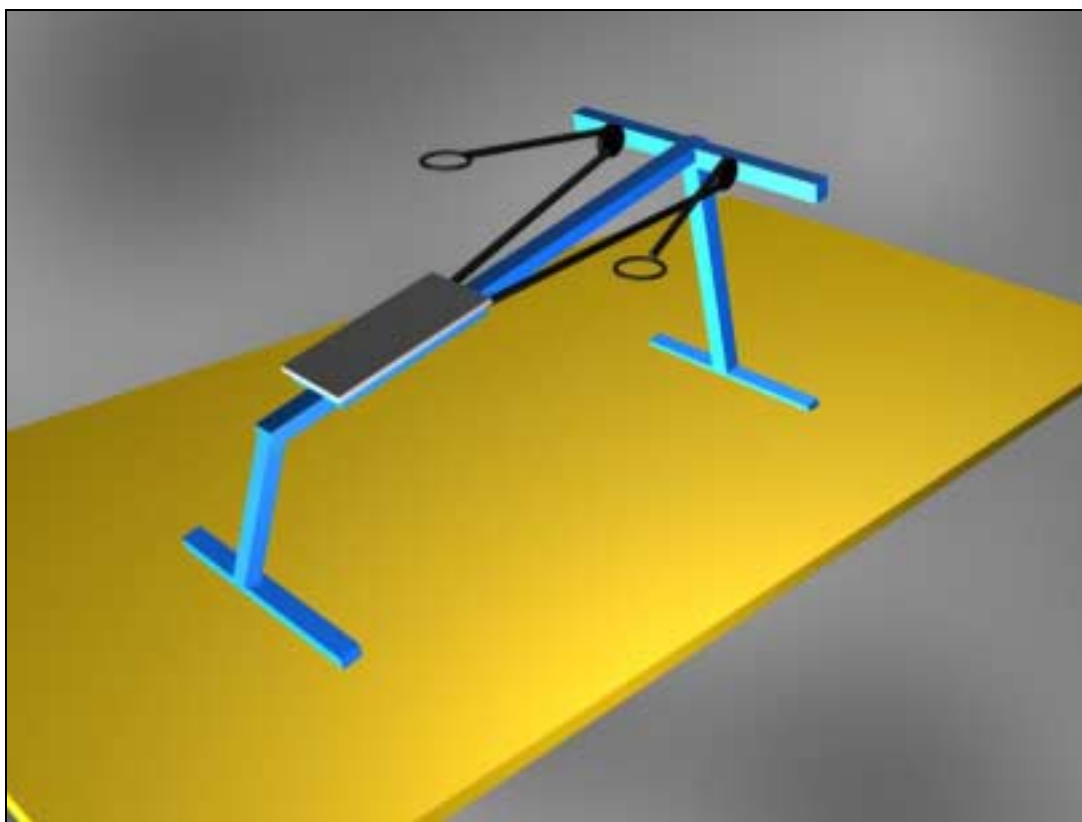


CAPITULO 7 – ANEXOS

Anexo 3 → Desenhos

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
Faculdade de Engenharia Industrial Mecânica

DISPOSITIVO MECÂNICO PARA TREINAMENTO DE NADADORES – PROJETO FINAL



Santos – 2006



DISPOSITIVO MECÂNICO PARA TREINAMENTO DE NADADORES – PROJETO FINAL

Trabalho de aproveitamento da disciplina
“Projeto de Graduação II” do curso de Graduação
em Engenharia Industrial Mecânica da
Universidade Santa Cecília.

Bernard Scattolin Faure

Eder Savanini

Francisco Assis Nascimento

Jorge Zacarias



Agradecimentos

Dedicamos este projeto às nossas famílias e a todos aqueles que de alguma forma nos auxiliaram para a realização da mesma, e em especial aos professores:

Valmir Demarchi

José Carlos Morilla

João Carlos Teixeira Barros

Carlos Alberto Amaral Moino

Wilson Roberto Nassar

Não nos esquecendo obviamente dos inúmeros professores com elevados propósitos acadêmicos desta faculdade, sem os quais nada disto poderia ser realizado.



"Habilidade só se ganha fazendo."
Ralph Waldo Emerson



RESUMO

Nesta etapa do projeto, se construiu o equipamento desenvolvido na disciplina Projeto de Graduação para Engenharia Mecânica (Dispositivo Mecânico para Treinamento de Nadadores). Durante a construção deste dispositivo foram necessárias algumas pequenas alterações em relação ao projeto original, para se obter melhores resultados na utilização do mesmo.

Após finalizada a construção do dispositivo, foram realizados testes práticos em conjunto com o departamento de Educação Física da Universidade Santa Cecília, onde foram sugeridas algumas pequenas modificações. Foram realizadas avaliações quanto às modificações efetuadas no projeto original, estimativa de custo (material e mão de obra), sugestões de melhoria e resultados da avaliação do teste prático.

ABSTRACT

In this stage of the project the equipment developed in the graduation project course was built (mechanical swimmers training device). During the construction of the device some modifications relative to the initial project were necessary in order to obtain better using results of the equipment.

Costs researches of the device were performed to analyze the feasibility on a commercial production scale.

After the construction of the equipment practical tests were conducted with the help of Physical Education Department of Santa Cecilia University, where small modifications were suggested with the goal of improving the athlete's performance using the designed equipment.

CAPÍTULO 1 – CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

Para realização dos cálculos na primeira etapa do projeto, utilizou-se como referência informações cedidas por endereços eletrônicos de empresas, catálogos e informações por especialistas que atuam na área de construção de dispositivos mecânicos.

Na construção do dispositivo, obteve-se ajuda de empresas que se propuseram a auxiliar na confecção ou cederam suas instalações para que se pudesse construir tal dispositivo.

A USIFINE (Industria Mecânica de Precisão LTDA), foi à empresa responsável pela aquisição dos tubos de aço utilizados no dispositivo, corte destes tubos nas dimensões especificadas nos desenhos, soldagem das vigas de sustentação traseira e dianteira, assim como algumas furações para que a montagem do quadro fosse realizada.

A ACD - Chapas, foi à empresa responsável pelo fornecimento e dobramento de uma chapa de material Aço 1045 com espessura de 3mm para construção do carro móvel.

A Jedel – Afiação de Ferramentas, foi a empresa responsável por ceder sua oficina de manutenção e ferramentas que foram utilizadas para torneamento dos eixos do carro móvel, furações de ajustes em geral que com certeza contribuíram para finalização do projeto.

A prancha para apoio dos usuários do dispositivo, foi construída em madeira do tipo Cedrinho de dimensões especificadas em desenho, almofadada em espuma e revestimento em material “curvin” de cor marrom, por meio de grampos de aço.

CAPÍTULO 2 – MODIFICAÇÕES NO PROJETO INICIAL

2.1 – CARRO MÓVEL

Na realização dos primeiros testes, observou-se um atrito excessivo e possível travamento do carro móvel ao retornar seu ciclo de movimentação.

Este atrito era provocado pela lateral interna do carro móvel (chapa dobrada) e a viga principal, o que aumentava a força realizada pelo atleta ao movimentar-se para a parte frontal do dispositivo ou o travamento, que chegou a acontecer, quando o carro móvel retornava a posição original.

Mantendo o carro móvel centralizado na viga principal, o atrito excessivo e o travamento não foram identificados, tornando o dispositivo funcional, então se decidiu modificar o carro móvel.

Desenvolveram-se novos eixos, com os mesmos diâmetros calculados, porém com chanfros em suas laterais formando um “carretel”, com o objetivo de eliminar o contato lateral entre o carro móvel e a viga principal, além de manter-se desta forma, uma garantia do movimento longitudinal no sentido da viga principal, pois as disposições dos 04 (quatro) eixos permitem na movimentação pequenos movimentos transversais devido ao raio característico do tubo de aço utilizado na construção do carro móvel e os eixos com chanfros de 45° que funcionam como guia, mantendo o carro móvel sempre no centro da viga.

2.2 – SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO DISPOSITIVO

Inicialmente ao projetar o dispositivo, havia-se optado por um cabo de aço de 6x19 tipo AF/AFA com diâmetro de ¼” I.P.S. padronizado com roldana de aço.

Analisando a capacidade do cabo calculado de 199kgf, já incluso o coeficiente de segurança igual a 4, e o cabo escolhido, verificou-se um potencial de redução de

custo e do dispositivo, mantendo sua funcionalidade e principalmente a segurança dos usuários.

Sendo assim, passou-se a utilizar cabo de aço de 6x7 tipo AF/AFA com diâmetro de 3/32" I.P.S. com carga de ruptura de 340 kgf. Optou-se por um cabo de aço galvanizado com a finalidade de proteger contra a corrosão, além do revestimento plástico.

Baseado no diâmetro do cabo de aço necessitou-se dimensionar uma roldana comercial para utilização no dispositivo, optando por um conjunto composto de roldana padronizada de diâmetro externo de 4" para cabo de aço de 3/32" em nylon, eixo com furação passante, rolamento e suporte em chapa de aço formato "U".

Para fixação do cabo de aço no carro móvel, utilizaram-se "clips" normalizados para fixação de cabos de aço e um olhal de 5/16". Os manípulos foram construídos em aço com diâmetro externo de 16mm, comprimento de 110mm, com revestimento plástico para melhorar a aderência durante utilização do dispositivo.

A movimentação do dispositivo anteriormente constituído por um sistema formado de 02 polias fixas, localizadas na barra transversal, e 01 polia móvel fixada na parte inferior do carro móvel, após algumas avaliações da movimentação dos cabos com relação aos movimentos inicialmente propostos para a natação, inviabilizariam alguns tipos de exercícios.

Com 03 polias, o usuário não conseguiria através dos manípulos fixados nas extremidades dos cabos, realizar a sua própria movimentação e conseqüentemente a movimentação do carro móvel, ou seja, o carro móvel estaria estático, e as movimentações seriam exclusivas do cabo de aço e das polias sem praticamente nenhum esforço do usuário.

Após algumas verificações, eliminou-se a polia móvel do sistema, substituindo por um suporte – olhal 5/16" – para fixação do cabo de aço, desta forma, atendendo as necessidades e o sistema de movimentação.

CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DE CUSTO

No início dos estudos para obtenção do dispositivo que está sendo concluído, o departamento de Educação Física da Universidade informou que este dispositivo, após estar pronto para utilização, teria certamente grande utilidade para o treinamento dos atletas desta Universidade. Diante do grande interesse que este dispositivo despertou, viu-se a responsabilidade em concretizá-lo de forma adequada para que sua utilização seja de grande valia. Mesmo sendo realizada uma pesquisa de custo, priorizou-se a qualidade a favor de uma otimização da performance deste dispositivo.

Como a intenção deste dispositivo não é a de ser utilizada apenas para se realizar alguns testes e logo após ser transformado em sucata, decidiu-se então pela terceirização de algumas etapas da construção deste dispositivo, com a única intenção de disponibilizar para a Universidade um dispositivo que possa ser utilizado com total segurança. Os principais pontos responsáveis pela decisão de se terceirizar algumas etapas desta construção foram: maior segurança ao usuário, maior conforto e, obviamente, uma melhor aparência visual do mesmo.

Abaixo estão indicadas as etapas do processo de construção do dispositivo que foram terceirizadas:

- Corte dos Tubos;
- Furação dos Tubos;
- Solda dos tubos;
- Pintura dos tubos;
- Dobramento e furação do “carro móvel”;
- Usinagem da “prancha”;
- Estofamento da “prancha”;

Os demais acessórios necessários para uma perfeita utilização no dispositivo, tais como “polias” e “cabos” foram adquiridos comercialmente em lojas especializadas. Para a finalização deste dispositivo, realizou-se a compra dos materiais necessários bem como pela pesquisa do custo envolvido. Foram consultados vários estabelecimentos comerciais, tais como a COPAFER, a “rua das ferramentas” – Rua Florêncio de Abreu, em São Paulo, e uma loja especializada em polias com pronta entrega na rua do Triunfo na MOOCA.

Com isso, realizou-se a montagem do carro móvel, roldanas, cabo de aço e manípulo.

Lojas utilizadas para compra de materiais:

Vedações ABC	Mauá
BBC Rolamentos	Mauá
COPAFER Comercial	Santo André
Polias Dielmo	São Paulo
Antunes Freixo S.A.	São Paulo
Celmar	São Paulo

As empresas que se propuseram a ajudar na construção deste dispositivo, executando as etapas do processo que foram terceirizadas, cobraram apenas pelos materiais utilizados. Abaixo se encontra uma tabela com os custos para obtenção do dispositivo.

Tabela 15: Custo do Dispositivo

CUSTO DO DISPOSITIVO	
MATERIAL	R\$
TUBOS DE AÇO	325,00
TARUGO DE NYLON (50x100)	66,00
ROLDANAS, CABO DE AÇO, PORCAS, PARAFUSOS.	148,43
PRANCHA DE MADEIRA REVESTIDA	60,00
TOTAL	599,43

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO TESTE PRÁTICO

Proposto pela coordenação do curso de Educação Física da universidade, procurou-se em parceria atribuímos as necessidades de um atleta na realização dos movimentos típicos atribuídos à natação, e a construção de um dispositivo mecânico que pudesse auxiliar no treinamento e correções dos movimentos dos atletas tanto para atividade esportiva como competitiva.

Para que se obtivesse êxito no atendimento das necessidades informadas, apresentaram-se algumas propostas, inicialmente através de croquis até o refinamento atingido e utilizado como base dos estudos mecânicos, estruturais e os cálculos realizados no projeto de graduação I.

Como descrito, a construção do dispositivo foi finalizada, e entregue à coordenação do curso de Educação Física, Sr. João Carlos Teixeira Barros, que fez questão de testar o dispositivo.

Com o intuito de certificarmos do cumprimento e atendimento das necessidades, e principalmente verificarmos a necessidade de melhorias, os testes foram realizados nos 4 estilos de natação possíveis de realização com o dispositivo.

O dispositivo foi aprovado e sugerido como melhoria apenas a inclusão de regulagens no posicionamento das polias localizadas na barra transversal. Atualmente as polias estão fixadas conforme projeto, por meio de parafusos com distância entre centros de 450 milímetros. Para efetivar a regulagem proposta, 03 novas distâncias entre centros para fixação das polias poderiam ser realizadas através de furações na barra transversal.

CAPÍTULO 5 – SUGESTÕES DE MELHORIA

Obviamente, após o dispositivo ter sido finalizado, verificam-se alguns aspectos que poderiam ser melhorados para auxiliar o usuário a conseguir melhores resultados com o dispositivo. Entre estas melhorias podem-se citar as seguintes:

- Um mecanismo que pudesse ser acoplado ao carro móvel com a intenção de se controlar o esforço que o atleta está realizando, podendo o instrutor exigir o máximo de cada atleta. Este sistema de controle de resistência daria maior capacidade de ajuste, permitindo assim uma mais rápida regulação de esforços, diferentemente da mudança da inclinação da viga central (trilho).
- Algum dispositivo, como um dinamômetro, que possa medir o esforço que o atleta está sendo submetido, para assim o seu instrutor verificar se este está realizando um esforço maior ou menor que sua capacidade, este dispositivo seria importante para evitar contusões dos atletas.
- Estudar uma maneira de se acoplar algum dispositivo na parte inferior / traseira do dispositivo para que os atletas possam realizar exercícios de perna.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Realizou-se com grande sucesso a finalização deste dispositivo mecânico para treinamento de nadadores. Não foram necessárias grandes modificações no projeto original. A construção deste dispositivo seguiu os passos de todo estudo elaborado preliminarmente. A estimativa de custo mostrou-se ser um dispositivo bastante acessível ao mercado nacional para equipamento esportivos, na existência de uma empresa ter interesse em sua construção e comercialização. Mesmo por se tratar de um dispositivo do qual não se tem notícia da utilização neste país, os testes práticos se mostraram mais do que satisfatórios, já que este dispositivo correspondeu prontamente a maioria das solicitações anteriormente descritas e calculadas, como também os envolvidos demonstraram grande desejo e confiança em sua utilização para o treinamento fora d'água.

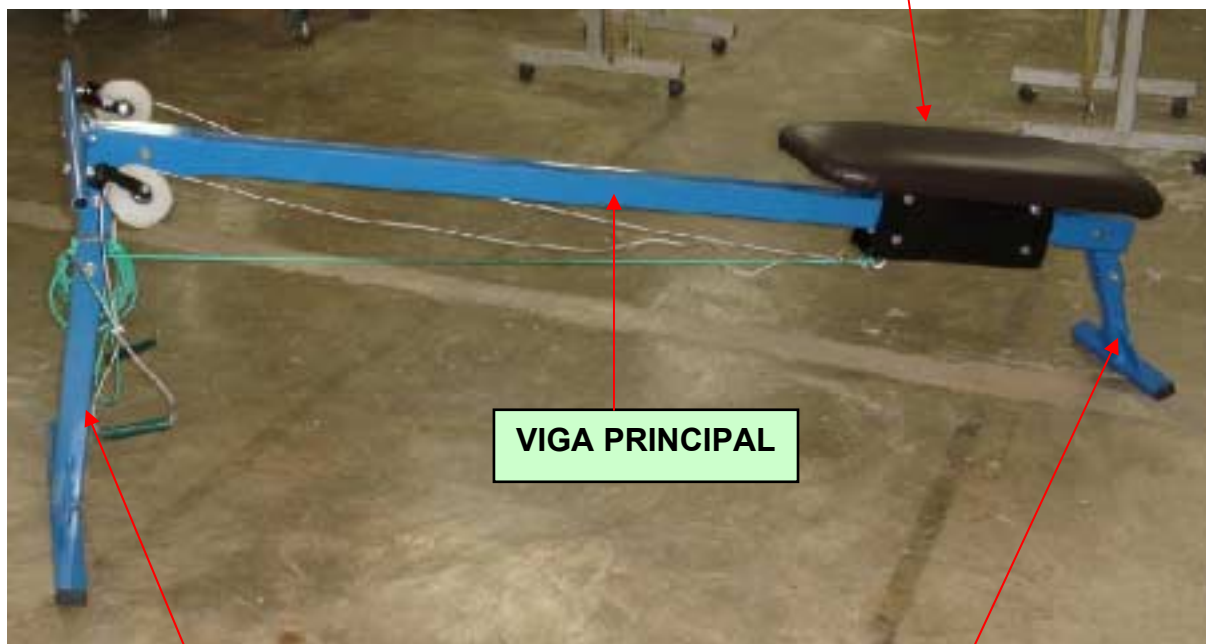
Quanto às sugestões de melhoria, muitas outras certamente surgirão com a utilização continuada deste dispositivo, e destas, ainda outras; a otimização é um processo dinâmico e que está sempre guiado pelo desenvolvimento tecnológico global, e deste também faz parte.

CAPÍTULO 7 – BIBLIOGRAFIA

1 – Monografia do trabalho de aproveitamento da disciplina “Projeto de Graduação I” do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Santa Cecília: **DISPOSITIVO MECÂNICO PARA TREINAMENTO DE NADADORES**. (2º Semestre – 2005).

CAPÍTULO 7 – ANEXOS

CARRO MÓVEL + PRANCHA

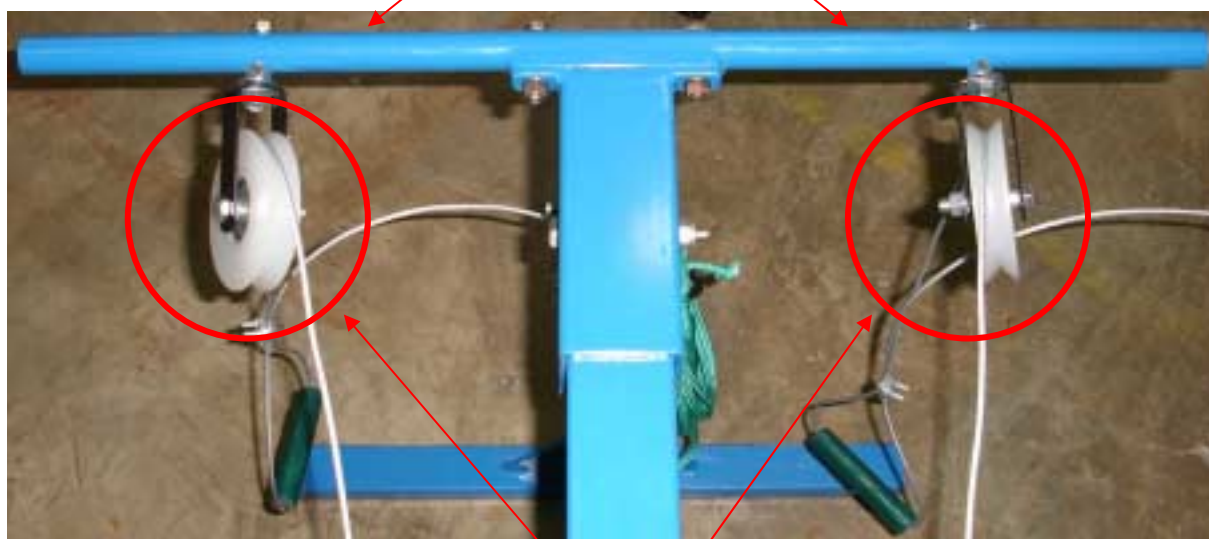


**VIGA DE SUSTENTAÇÃO
DIANTEIRA**

**VIGA DE SUSTENTAÇÃO
TRASEIRA**



BARRA TRANSVERSAL



POLIAS