

# AVALIAÇÃO DE PROJETO DE CADEIRA PARA REMO ADAPTADO E PROPOSTA DE MELHORIAS

**Fabio de Alcântara Machado**

fabio.alcantaramachado@gmail.com

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

***Resumo.** Em 2007, como trabalho de formatura na Escola Politécnica, foi projetada e construída uma cadeira para a prática de remo adaptado utilizada em treinos e em competições. Este trabalho tem como objetivo a avaliação e otimização deste projeto. Serão feitas propostas de melhorias de acordo com critérios definidos e avaliação feita com os usuários da cadeira. A cadeira deve possuir baixo custo de fabricação, deve ser fácil de fixar no barco a remo, deve proporcionar conforto ao atleta que a utilizar e deve ser leve para não prejudicar o desempenho do atleta em competições.*

***Palavras chave:** projeto, cadeira, remo, adaptado.*

## 1. Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde [1], cerca de 600 milhões de pessoas possuem algum tipo de deficiência devido a doenças crônicas, acidentes, violência, doenças sexualmente transmissíveis e outros fatores ligados à pobreza. Dentro deste cenário, é fundamental que as comunidades nas quais estas pessoas vivem se mobilizem para diminuir as dificuldades enfrentadas pelos deficientes.

Dentro das práticas mais eficientes para a inclusão dos portadores de deficiência encontra-se o esporte. A UNESCO estabelece que “a prática da educação física é um direito de todos e que programas devem dar prioridade aos grupos menos favorecidos no seio da sociedade (carta internacional de educação física e desporto, 1978)”.

O Remo Adaptado teve início no Brasil nos anos 80, quando a Superintendência de Desportos do Rio de Janeiro iniciou um programa de reabilitação e lazer através do remo [3]. O programa chegou a ser extinto, mas em 2005 a Confederação Brasileira de Remo o reativou. Em 2001, a Federação Internacional de remo (FISA) solicitou a inclusão do remo nos Jogos Paraolímpicos de 2008 e em 2002 realizou o primeiro campeonato mundial da categoria em Sevilha (Espanha). O remo adaptado é dividido nas classes abaixo para permitir que atletas com diferentes tipos de deficiência compitam em condições de igualdade:

- Classe somente braços (A): usa assento fixo com encosto e mãos possivelmente amarradas ao punho do remo
- Classe tronco e braços (TA): usa assentos fixos
- Classe pernas, tronco e braços (LTA): usa o carrinho

Em 2007, foi projetada e construída na Escola Politécnica uma cadeira para atender as necessidades dos atletas da classe A de remo adaptado. Este trabalho foi realizado pelo então aluno Gustavo de Andrade Poletto sob a orientação da Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado [4]. Durante a realização do presente trabalho, o protótipo estava sendo utilizado por atletas da Seleção Brasileira de remo adaptado que treinavam nas instalações do Clube de Regatas Bandeirantes na raia da Universidade de São Paulo.

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho será avaliar o projeto de cadeira para remo adaptado realizado na Escola Politécnica em 2007, propor melhorias e projetar uma nova cadeira. Para identificar as necessidades que não foram satisfeitas pelo projeto anterior, serão realizadas pesquisas com atletas e treinadores, os usuários finais do produto. Para a realização das pesquisas será necessário definir critérios de avaliação.

## 3. Avaliação do projeto

### 3.1 Critérios

Para que fosse possível a avaliação do projeto existente, de acordo com os objetivos deste trabalho, foram definidos os seguintes critérios:

**Fixação ao Barco:** neste critério será avaliada a facilidade para instalar e remover a cadeira do barco a remo. Será observado se existe a necessidade de ferramentas para tal processo, a rapidez para a instalação e a possibilidade de se usar a cadeira em mais de um tipo de barco.

**Regulagens:** neste critério será avaliada a existência de regulagens para o encosto (altura e inclinação) e a quantidade de posições possíveis para tais regulagens. É importante também que as posições se mantenham fixas durante o uso.

**Conforto:** este critério avalia como o atleta se sente ao utilizar a cadeira. Será avaliado se o encosto não limita o movimento de seus braços durante a remada ou se o assento ou outra parte da cadeira o incomoda. Outro fator a ser

consideração é a sustentação dada pelo assento ao atleta, avaliando-se a capacidade do assento de mantê-lo em posição estável durante os treinos ou competições.

Peso: este critério avalia o peso da cadeira considerando todos os seus componentes (estrutura, assento e sistema para fixação). O peso afeta diretamente o desempenho do atleta uma vez que quanto mais pesada for a cadeira, maior será o esforço do remador para movimentar o barco.

### 3.2 Descrição do projeto

Fixação ao barco: A cadeira é fixada ao barco por meio de um trilho em U que encobre o trilho do barco e, com ação de parafusos trava o trilho por atrito na posição desejada. Observa-se o funcionamento deste sistema na Fig. (1). A regulagem da posição da cadeira sobre o trilho em U é feita por meio de um quick release, mostrado na Fig. (2). A distância entre o par de trilhos em U é variável.

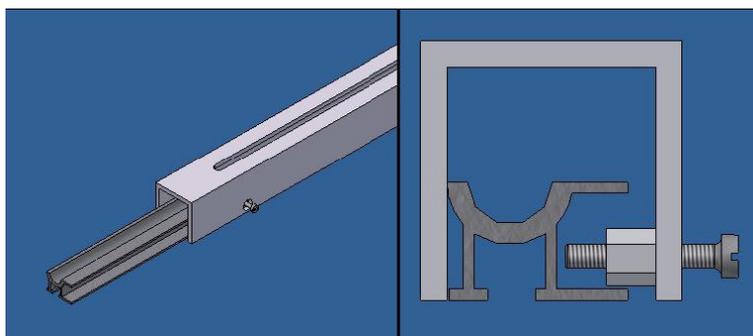


Figura 1. Sistema de fixação da cadeira ao trilho [4]



Figura 2. Imagem de um quick-release [4]

Assento e Encosto: As estruturas do assento e do encosto são encaixadas e articuladas para possibilitar a regulagem da inclinação do encosto. Esta união é feita por dois tarugos faceados cujo funcionamento é mostrado na Fig. (3). O assento e o encosto são feitos de couro marítimo, estofados e com fixação à estrutura feita apenas por tiras de velcro. Não há apoio para o assento. Na Fig. (4) é possível observar o assento e o encosto fixados à estrutura da cadeira

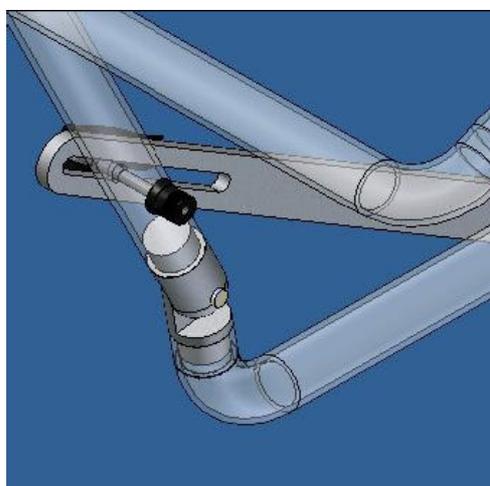


Figura 3. Funcionamento do ajuste do encosto [4]



Figura 4. Assento e encosto da cadeira [4]

### 3.3 Avaliação

Para avaliar o projeto, foi realizada uma pesquisa junto ao remador Josemar Sales, principal usuário da cadeira. A partir das repostas e comentários do atleta foi possível identificar quais as necessidades foram atendidas e o que poderá ser feito para atender as que não o foram. A seguir será mostrada a avaliação segundo os critérios anteriormente mencionados.

**Fixação ao barco:** O sistema de fixação atende às necessidades do usuário. Uma vez instalado o par de trilhos em U, processo que exige o uso de chave de fenda, é possível regular a distância entre a cadeira e o apoio dos pés com facilidade usando o quick release. Uma vez que não há barcos exclusivos para os remadores adaptados nos treinamentos e que existem variações da distância entre os trilhos nos quais a cadeira é fixada, outra vantagem deste sistema é a possibilidade de se fixar em qualquer uma destas variações.

**Regulagens:** O encosto possui regulagem para inclinação, mas não para a altura. O tarugo com rasgo usado para regular a inclinação permite múltiplas posições do encosto, mas não se mostra resistente à força da remada do atleta e não é capaz de se manter em uma posição estável.

**Conforto:** O assento não é capaz de sustentar o peso do atleta estando apenas fixado à estrutura da cadeira por meio das tiras de velcro. O assento afunda e causa desconforto. O encosto é muito alto e largo e limita o movimento dos braços e ombros do atleta durante a remada.

**Peso:** A cadeira é feita de estrutura de alumínio, material leve e adequado às condições do projeto. Em um próximo momento será avaliado se a espessura da estrutura tubular pode ser reduzida, diminuindo seu peso. O assento não é muito espesso e seu peso não interfere no desempenho do remador, assim como o sistema de fixação que é composto de duas barras de alumínio.

### 4. Assento

Um dos principais pontos levantados durante a pesquisa com o usuário da cadeira foi a falta de conforto apresentada pela cadeira projetada em 2007. Pode-se destacar como fator fundamental para este desconforto a falta de uma base que sustentasse o assento de couro marítimo. Desta forma procurou-se projetar um assento que proporcionasse esta sustentação, mas sem impedir o acesso aos quick-release que permitem a fixação da cadeira ao barco. A solução encontrada para o assento possui uma articulação que permite tal acesso.

A base é feita em polipropileno, material leve, resistente e barato e é fixada por meio de uma chapa dobrada em L. A fixação entre a chapa e a base de polipropileno é feita por meio de 6 rebites em cada lateral. Detalhes do assento podem ser vistos na Figura 5.

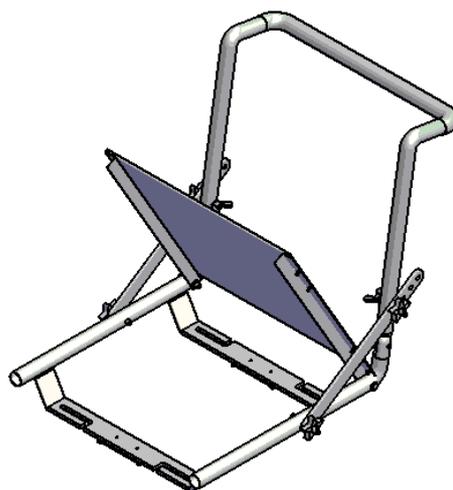


Figura 5. Solução para o assento

## 5. Análise estrutural

Na avaliação do projeto existente percebeu-se que houve dimensionamento excessivamente conservador da estrutura da cadeira. Será realizada uma nova análise estrutural e será proposto um novo material para a cadeira que atenda melhor os objetivos do projeto.

Como premissa, será considerada a distribuição das forças na estrutura da cadeira conforme Fig. (6), Fig. (7), Tab. (1) e Tab. (2) abaixo. A distribuição do peso do atleta ao longo do tubo da cadeira (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) tenta representar aproximadamente o que seria a distribuição real do peso do remador, uma vez que grande parte do peso estará na parte de trás da cadeira. Para os pontos de aplicação da força resultante da massa do atleta, foram escolhidos os pontos onde os rebites de fixação da placa de polipropileno à chapa dobrada entram em contato com a estrutura tubular. Tal hipótese é a favor da segurança.

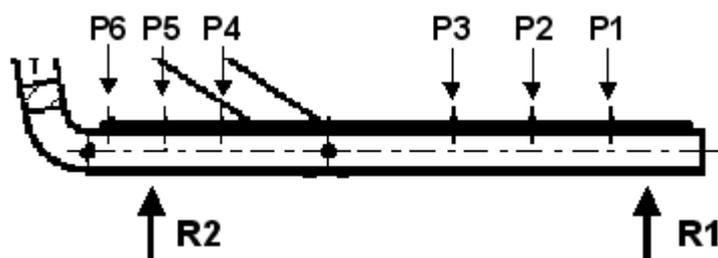


Figura 6. Distribuição das forças na estrutura da cadeira

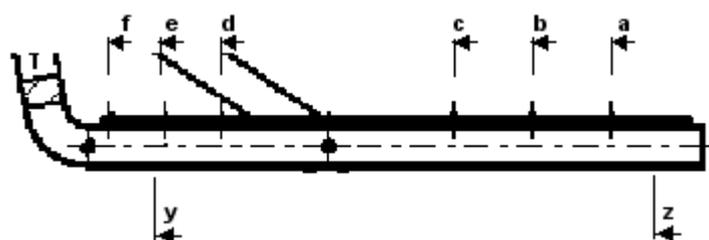


Figura 7. Pontos de aplicação das forças na estrutura

Tabela 1. Distribuição do peso do atleta

Força	Percentual
P1	5%
P2	10%

P3	25%
P4	25%
P5	20%
P6	15%
P <sub>total</sub>	100%

Tabela 2. Valores das distâncias da Figura 7

Distância	[mm]
y	39,05
a	100,00
b	150,00
c	200,00
d	305,00
e	340,00
z	349,85
f	375,00

Para o cálculo de  $P_{total}$  foi adotado que o peso do atleta é igualmente dividido entre os dois tubos que formam a base da cadeira. Além disso, supôs-se que a barra de regulagem do encosto não realiza esforço na estrutura da cadeira e que a articulação do assento fixada aos tubos não suporta nenhuma parte do peso do atleta. Portanto, levando-se em consideração que:

$$P_{total} = \frac{m \cdot g}{2} \quad (1)$$

Onde,  $m$  representa a massa do atleta (120 Kg) e  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Desta forma chegamos ao valor de  $P_{total} = 588 \text{ N}$ .

Assim, através das equações de equilíbrio das forças verticais e do momento em relação ao ponto  $z$ , podemos facilmente achar as reações de apoio  $R_1=150,1\text{N}$  e  $R_2=437,9\text{N}$ . Com esses valores, é possível traçar o diagrama do momento fletor ao longo do tubo, mostrado na Fig. (7)

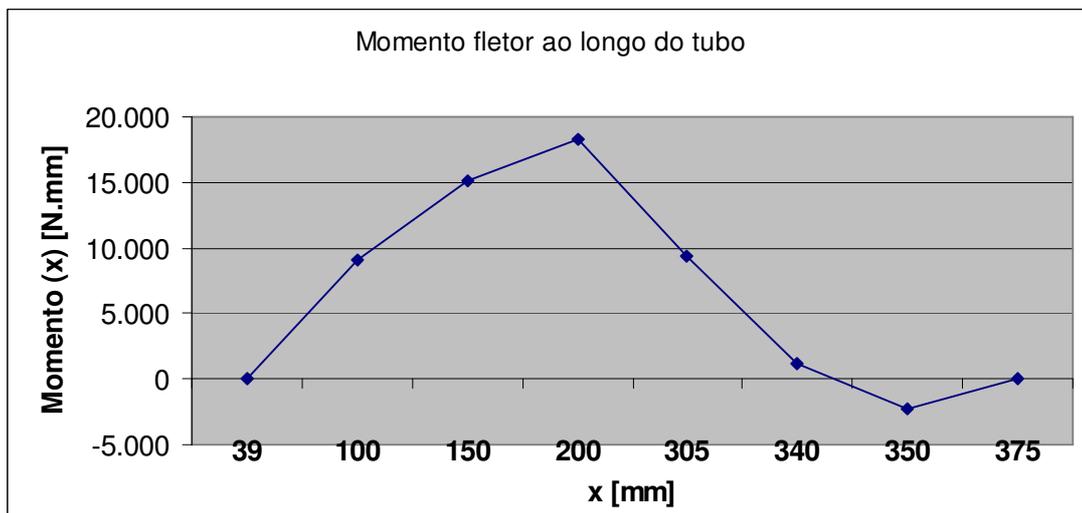


Figura 8. Momento fletor ao longo da base tubular da cadeira

Podemos notar que o valor máximo do momento fletor se encontra onde P3 atua e possui um valor de 18.282 N.mm. Vale ressaltar que conforme variamos as porcentagens que representam a distribuição do peso do atleta, o valor do máximo momento fletor, assim como o ponto onde ele ocorre variam. Entretanto, a distribuição selecionada e aqui analisada representa de forma segura a realidade.

O próximo passo é determinar as tensões às quais a estrutura está sujeita. Para tanto usaremos as equações de tensão e momento de inércia, Eq. (2) e Eq. (3) respectivamente. Nestas equações  $M$  é o momento fletor,  $y$  é a distância entre o ponto sujeito à tensão e o centro da seção transversal,  $I$  é o momento de inércia da seção,  $D$  é o diâmetro externo do tubo e  $d$  o diâmetro interno.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2)$$

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} \quad (3)$$

O valor máximo de  $\sigma$  ocorrerá no ponto onde  $y=D$ . Porém, como existe um furo na estrutura onde a barra de regulagem do encosto está fixada, é preciso avaliar a concentração de tensão neste ponto para determinarmos em que ponto do eixo  $x$  ocorrerá a maior tensão. Segundo Norton [5], o fator de concentração de tensão para este caso, onde  $d_f$  é o diâmetro do furo é mostrado na Eq. (4).

$$K = 1,5899 - 0,6355 \cdot \log\left(\frac{d_f}{D}\right) \quad (4)$$

O furo possui diâmetro de 8mm e está localizado a 236mm da extremidade livre do tubo. Podemos encontrar o momento fletor neste ponto ( $M_f = 15.219 \text{ N}\cdot\text{mm}$ ) através da Eq. (5) mostrada abaixo.

$$M_f = -P1(236 - a) - P2(236 - b) - P3(236 - c) - P4(236 - d) + R1(236 - y) \quad (5)$$

Um dos objetivos do projeto é que a cadeira tenha um processo de fabricação o mais simples possível. Desta forma, faremos a substituição da liga de alumínio utilizada no projeto anterior por aço carbono ABNT 1020. Esse material, apesar de possuir uma densidade maior que a do alumínio, resiste a maiores tensões de escoamento. Mostrar-se-á que será possível obter uma redução no peso da estrutura da cadeira, outro objetivo deste projeto, ao fazermos esta substituição. Além disso, como há soldagem envolvida na fabricação, outra vantagem do aço carbono é maior facilidade de se realizar este processo de fabricação no mesmo em comparação às ligas de alumínio.

Com estas informações e percebendo que de acordo com o tubo selecionado, variamos a tensão e o fator de concentração no furo, é possível construir uma tabela com algumas opções de tubo que podem ser utilizadas na fabricação da estrutura, utilizando Eq. (2), Eq. (3) e Eq. (4). A Tab. (3) mostra os valores de tensão ( $\sigma$ ) no ponto de aplicação de P3 (ponto c), tensão no furo presente na estrutura ( $\sigma_{\text{furo}}$ ) e do fator de concentração de tensão (K) para os tubos pré-selecionados. Os tubos são caracterizados na Tab. (3) por seu diâmetro externo (D), diâmetro interno (d) e espessura.

Tabela 3: Seleção de tubo para estrutura da cadeira

Material	Alumínio	ABNT 1020		
Espessura (mm)	3,175	0,750	0,900	0,750
D (mm)	25,40	25,40	22,22	19,05
d (mm)	19,05	23,90	20,42	17,55
$\sigma$ Mpa	16,62	52,58	59,20	96,31
K	1,91	1,91	1,87	1,83
$\sigma_{\text{furo}}$ (Mpa)	26,4	83,6	92,2	146,7
Area transversal (m2)	2,22E-04	5,81E-05	6,03E-05	4,31E-05
Densidade (kg/m3)	2700	7850	7850	7850
Redução de peso		24%	21%	43%
Tensão de escoamento (Mpa)	90	210	210	210
Fator de Seguança	3,4	2,5	2,3	1,4

Na Tab. (3) é possível notar que obtemos uma redução de 24% no peso da estrutura, mesmo trabalhando com um fator de segurança de 2,5 que proporciona boa confiabilidade ao projeto.

É importante mencionar que o ponto onde a articulação da cadeira é fixada ao tubo ( $x=386$  mm) apresenta momento nulo, calculado a partir da Eq. 6. Desta forma não há necessidade da análise acima para este ponto.

$$M_{f_2} = -P1(386 - a) - P2(386 - b) - P3(386 - c) - P4(386 - d) - \\ - P5(386 - e) - P6(386 - f) + R1(386 - y) + R2(386 - z) \quad (6)$$

## 6. Regulagem do encosto

Um dos problemas notados na avaliação do projeto foi a regulagem do encosto. Por ser feita de um tarugo com um rasgo para ajustar a inclinação do encosto, notou-se que o quick-release deslizava e não mantinha a posição desejada pelo remador. A Fig. (8) ilustra o projeto anterior, enquanto que a Figura 12.b mostra a solução obtida. A solução proposta consiste de quatro furos no tarugo de forma que seja possível regular a inclinação do encosto (em quatro posições), ao mesmo tempo em que assegura que uma vez selecionada tal inclinação ela se mantenha constante durante o treino ou competição.

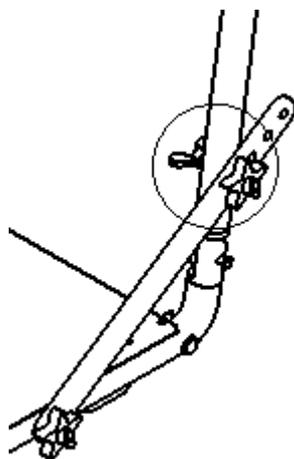


Figura 9. Solução para regulagem do encosto

## 7. Referências

- [1] OMS – Organização Mundial da Saúde. Disponível em: <www.who.int> Acesso: 20/04/2008
- [2] CPB – Comitê Paraolímpico Brasileiro. Disponível em: <www.cpb.org.br> Acesso: 20/11/2008
- [3] CBR – Confederação Brasileira de Remo. Disponível em: <www.cbr-remo.com.br> Acesso: 20/04/2008
- [4] Poletto, Gustavo de Andrade; Projeto e construção de uma cadeira fixa para remo adaptável – Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 2000
- [5] Norton, L. Robert, Projeto de Máquinas, São Paulo, Artmed Editora, 2000.
- [6] Gere, James M., Mecânica dos Materiais, 5ª edição, São Paulo, Pioneira Thomson Learning Ltda., 2001

## 8. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## EVALUATION OF SEAT DESIGNED TO ADAPTIVE ROWING AND IMPROVEMENTS RECOMMENDATION

**Fabio de Alcantara Machado**

fabio.alcantaramachado@gmail.com

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Abstract.** In 2007, a chair for adaptive rowing, used for practices and competitions, was projected and manufactured as a graduation project in Escola Politécnica. This work objective is to evaluate and improve that project. There will be made improvements suggestions according to defined criteria and users evaluation. The chair must have low cost to manufacture, must be easy to attach to the boat, must provide comfort to the user and must be light weighted in order not to harm the athlete's performance during competitions.

**Keywords.** *Project, seat, rowing, adaptive.*