

CARLOS EDUARDO UHLMANN

CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE BICICLETA ERGOMÉTRICA EM  
ALUMÍNIO PARA HIDROGINÁSTICA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Guerra Machado

Porto Alegre  
2004



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DE BICICLETA ERGOMÉTRICA EM  
ALUMÍNIO PARA HIDROGINÁSTICA

CARLOS EDUARDO UHLMANN

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Flávio José Lorini  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

***BANCA EXAMINADORA:***

Prof. Dr. DARCI BARNECH CAMPANI  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO ESMERIO MAZZAFERRO  
UFRGS / DEMEC

Prof<sup>ª</sup>. SÍLVIA REGINA DORNELES DE SOUZA  
UFRGS / DEMEC

de modo especial, aos meus pais *Flory e Marlene*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre auxiliaram meus estudos, e a minha namorada *Carine*, que sempre me incentivou durante este período.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, *Prof. Dr. Ivan Guerra Machado* que sempre se mostrou disposto e interessado em saciar todas as dúvidas e dificuldades que surgiram no decorrer do trabalho.

Ao funcionário do Centro de Tecnologia *Luis*, por executar as soldas necessárias para realização do trabalho e pela assistência na construção do protótipo.

A *Prof<sup>a</sup> Dra. Jane Zoppas Ferreira* pela atenção e informações cedidas, e por disponibilizar a realização dos testes de corrosão no LACOR.

Ao *Prof. Dr. Herbert Martins Gomes* pela ajuda prestada na realização dos testes estruturais.

A mente que se abre a uma nova idéia,  
jamais volta ao tamanho original.

*Albert Einstein.*

UHLMANN, C. E. **Construção do Protótipo de Bicicleta Ergométrica em Alumínio para Hidroginástica**. 2004. 24f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do protótipo de uma bicicleta ergométrica para hidroginástica. É mostrada a vantagem dos exercícios feitos dentro da água em relação aos exercícios tradicionais. No desenvolvimento do projeto foi realizada análise ergométrica para definir as dimensões e ajustes, partindo-se de modelos de bicicletas já existentes. Procura-se adquirir o maior número possível de componentes no mercado. É realizada análise numérica computacional em programa comercial para verificar a resistência estrutural. Define-se a liga de alumínio AA 6060T5 e o aço inoxidável AISI 304 como os melhores materiais a serem empregados. Deu-se ênfase à construção do quadro, dimensionando-se os cordões de solda e define-se o TIG como melhor processo de soldagem com seus respectivos parâmetros. Realizam-se os testes de câmara de névoa salina e de imersão para verificar a ação do meio corrosivo no material. Para validar o modelo numérico computacional foi realizado teste com extensômetros, onde foi medido deformação. Foi realizado também estudo de custos do protótipo, comparando-se com os custos de uma produção seriada. Como resultado final obtêm-se o protótipo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bicicleta, Hidroginástica, Corrosão, Soldagem TIG, Alumínio.

UHLMANN, C. E. **Construction of Ergometrical Bicycle Prototype in Aluminum for Hidroginastics**. 2004. 24f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

#### **ABSTRACT**

This work shows the development of an ergometrical bicycle for hidroginastics. It's shown the advantages of inside water exercises compared with traditional ones. Through the development of this project it is done ergonomic analysis to define the dimensions and adjusts, starting from models already for sale in the market. It is expected to obtain the higher number of market components. It is used a computer numeric analyses with commercial software to verify the structural resistance. It is found aluminum alloy AA 6060T5 and stainless steel AISI 304 as the better materials to be used. It's given emphasis on the structure construction, dimensioning the weld beads and TIG as the better welding process with their respective parameters. It's done tests of salt spraying chamber and immersion to verify the material behavior in corrosive solutions. To confirm the computer numeric model, it was used strain gauges, to measure the strain. It is done also, prototype costs studies, comparing with costs from a line production. It's obtained the prototype as the final product.

**KEYWORDS:** Bicycle, Hidroginastic, Corrosive, Welding TIG, Aluminum.

## SUMÁRIO

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Ergonomia .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Corrosão .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Processo de soldagem do alumínio .....</b>	<b>10</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Produtos semelhantes .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Análise ergométrica .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Escolha do material .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Peças e acessórios .....</b>	<b>12</b>
<b>4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Dimensionamento dos cordões de solda .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Simulação numérica computacional .....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Processo de soldagem do quadro .....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Problemas experimentais .....</b>	<b>16</b>
4.4.1 Corrosão .....	16
4.4.1.1 Câmara de névoa salina .....	17
4.4.1.2 Imersão .....	17
4.4.2 Teste estrutural .....	17
<b>5. ESTUDO DE CUSTOS .....</b>	<b>18</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As pessoas atualmente buscam cada vez mais uma vida saudável, através de exercícios físicos e boa alimentação. A hidroginástica é uma grande aliada nesta busca, pois proporciona muitas vantagens. Pesquisas recentes mostram que exercícios dentro da água propiciam um gasto calórico 1,5 vezes maior do que exercícios tradicionais. A explicação está na resistência oferecida pela água, oito vezes maior do que a do ar. A novidade é que quando se juntam exercícios intensos com imersão na água o resultado é melhor que o obtido com cada atividade feita isoladamente. (MADOV, 2003).

O exercício com o corpo parcialmente submerso tem vantagens conhecidas. A hidroginástica é a atividade física mais recomendada a idosos e a quem tem problemas nas articulações ou na coluna, doenças cardíacas ou diabetes, porque o corpo na água fica mais leve e os exercícios têm menos impacto. (MADOV, 2003).

Visando estas vantagens e somando o fator da baixa concorrência no fornecimento de uma bicicleta para este fim, foi criado este projeto. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e conceber o protótipo final.

O desenvolvimento do protótipo se baseou em produtos semelhantes do mercado, tentando-se resolver os problemas apresentados por estes e usando-se o máximo de peças e acessórios já produzidos por outros fabricantes. Foi realizada análise ergométrica para definir o tamanho e ajustes do quadro com seus acessórios, para que um maior número de pessoas possam usar o produto com total conforto. Selecionou-se a liga de alumínio AA 6060T5 e o Aço Inoxidável AISI 304 como os materiais mais adequados para o ambiente corrosivo onde o produto será usado. Após dimensiona-se as soldas do quadro, fazendo-se o cálculo analítico e definindo-se o processo e consumíveis usados. Para conferir a resistência mecânica do protótipo, é realizada análise numérica computacional em um programa comercial juntamente com testes experimentais de nível estrutural para comparação e validação do modelo. Para verificar os efeitos do meio corrosivo, foram realizados testes de imersão e câmara de névoa salina em corpos de prova com solda e com diferentes tipos de recobrimento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Ergonomia

Para que o ciclista possa pedalar com maior conforto e sem prejudicar a saúde, deve-se prestar atenção a alguns itens. A estatura (altura) do ciclista não é importante. O que importa mesmo é a altura do banco, pois o comprimento de pernas varia de pessoa para pessoa. Para colocar-se o banco na altura correta, faz-se um teste, onde o ângulo formado entre o fêmur e a fíbula é anotado e medido em duas posições - uma com a perna estendida completamente e a outra com a perna fletida e o joelho flexionado. (CAMARGO, 2004).

Quando o pedal estiver no ponto mais alto da pedalada, o ideal é que o joelho forme um ângulo de 90°, sendo que no ponto mais baixo, o ideal é formar um ângulo de 155° a 160°. Deve-se tomar cuidado também com o ângulo formado entre o fêmur e o tronco, sendo que se este ângulo for menor que 60°, prejudicará a performance do ciclista, pois comprimirá o diafragma e dificultará a respiração. Quanto aos membros superiores, tanto faz segurar o guidão com as mãos, apoiar os cotovelos na barra, deixar os braços ao longo do corpo ou ainda reclinar o tronco para frente, desde que se mantenha a coluna sempre ereta. (CAMARGO, 2004).

## 2.2 Corrosão

Pode-se dizer que corrosão é a reação de oxidação dos metais, isto é, o metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma substância, o oxidante, existente no meio corrosivo. Logo a corrosão é um modo de destruição do metal, progredindo através de sua superfície. (GENTIL, 2003).

No estudo dos processos corrosivos devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações. (GENTIL, 2003).

É recomendável, no estudo de processos corrosivos, que sejam seguidas as etapas:

- verificar a compatibilidade entre o meio corrosivo e o material;
- verificar condições operacionais;
- verificar relatórios de inspeção de equipamentos;
- estabelecer o mecanismo responsável pelo processo corrosivo;
- proceder à avaliação econômica;
- indicar medidas de proteção – esclarecidos o mecanismo e a avaliação econômica, pode-se indicar a proteção não só eficiente, mas também de adequada relação custo/benefício. (GENTIL, 2003).

Sabe-se que no tratamento de água de piscina é usual o emprego de cloro, que em contato com a umidade, forma ácido clorídrico, HCl, que é agente corrosivo tanto para os aços inoxidáveis como para o alumínio.

No caso dos aços inoxidáveis, em presença de oxidantes, como o oxigênio, eles formam uma película, constituída principalmente de óxido de cromo,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , que apresenta como característica aderência, continuidade, alta resistividade elétrica e praticamente ausência de porosidade, que tornam a película de óxido de cromo protetora, sendo, portanto responsáveis pela resistência à corrosão. Entre as substâncias que, mesmo em pequenas concentrações, danificam essa película, deve-se destacar o íon cloreto. Para atenuar esta corrosão devem-se usar aços inoxidáveis especiais, que contenham maior concentração de níquel em sua composição, o que eleva em muito o preço do produto, ou realizar passivação do metal. (GENTIL, 2003).

No caso do alumínio, a película de óxido de alumínio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , formada quando exposto ao ar, é responsável pela sua resistência a corrosão. Entretanto, em atmosferas contendo poluentes ácidos, principalmente ácido clorídrico, ocorre a solubilização do alumínio, com formação de cloreto de alumínio,  $\text{AlCl}_3$ , solúvel. A anodização de ligas de alumínio permite a formação de película de óxido de alumínio, com espessura cerca de 5 vezes maior do que o óxido de alumínio formado naturalmente. Além disso, os poros existentes na película de óxido podem ser selados, após a anodização, com água em ebulição ou resinas poliméricas. Esse tratamento possibilita maior resistência à corrosão das ligas de alumínio. (GENTIL, 2003).

## 2.3 Processo de soldagem do alumínio

O MIG é um processo usado largamente na indústria, tanto para a soldagem do alumínio, quanto para outros materiais. Porém, por motivos de infra-estrutura ele não pôde ser usado neste trabalho.

Um dos processos mais aconselháveis para a soldagem do alumínio é o TIG. Neste processo um eletrodo não consumível de tungstênio puro – ou composto de outros materiais – gera um arco elétrico com a peça, que juntamente com a poça de fusão assim formada, é protegido da atmosfera por um gás inerte, geralmente argônio. O modo de operação geralmente é manual, mas pode ser automático, sendo utilizada para soldar juntas pela simples fusão dos materiais base envolvidos, ou, também, com a adição de consumível através de uma vareta.

Pode-se operar com corrente contínua eletrodo positivo, corrente contínua eletrodo negativo ou corrente alternada. A última produz uma excelente ação de limpeza dos óxidos superficiais na poça de fusão e é preferida na soldagem do alumínio, magnésio e cobre-berílio. (MACHADO, 1996).

As principais razões para a escolha do TIG no processo de soldagem do alumínio são:

- excelente proteção à contaminação;
- mínima distorção, já que a temperatura aumenta numa estreita região;
- relativamente alta taxa de resfriamento, permitindo soldar ligas com muito grande intervalo de solidificação.

Entretanto, a alta taxa de solidificação pode resultar em porosidade, devido ao pouco tempo disponível para o escape dos gases provenientes de umidade, graxas, etc. Portanto, muita atenção deve ser dada limpeza do metal base e consumível, além da pureza do gás. (OKUMURA; TANIGUCHI, 1982).

### **3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO**

Para desenvolver os desenhos do protótipo utilizaram-se as dimensões obtidas através da análise ergométrica apresentada logo mais. Pesquisaram-se os perfis de alumínio existentes no mercado para construção do quadro, sendo encontrado com maior facilidade o perfil quadrado de 50,80 x 50,80 mm com 2,0 mm de espessura da liga AA 6060T5. Todos os desenhos foram realizados no programa SolidWorks 2003. Foram desenhadas todas as peças, componentes e acessórios separadamente e agrupadas na montagem final da bicicleta.

#### **3.1 Produtos semelhantes**

Até o momento existe apenas um produto semelhante no mercado, o qual é totalmente de Aço Inoxidável. Este modelo baseia-se na força de empuxo da água para mudar a intensidade da resistência dos pedais através de pás, não existindo esta alternativa no uso fora da água. O peso é muito grande, cerca de 22 Kg, dificultando no manejo do produto na hora de tirar e colocar na piscina. Seu valor é muito elevado, em torno de R\$ 2500,00. Para resolver estes problemas é proposto um modelo com cinta para variar a intensidade da resistência dos pedais tanto na água quanto fora dela. O quadro é todo de Alumínio, reduzindo praticamente o peso pela metade. Várias peças e acessórios serão adquiridos do mercado, reduzindo bastante o custo.

#### **3.2 Análise ergométrica**

A análise ergométrica realizada tem por objetivo dimensionar o quadro da bicicleta para que o maior número de pessoas possa usufruir o produto da maneira mais correta possível e com maior conforto. Tomou-se como base inicial as medidas de um ser humano de porte médio (1,75m) conforme figura 3.1(a) e da profundidade média das piscinas residenciais (1,25m) definindo-se a posição do banco para que a água ficasse na altura da cintura. Sabendo-se que o ângulo do joelho na altura mais alta da pedalada deve ser de 90° e que na posição mais baixa deve ser entre 155° e 160° definiu-se a posição do eixo central em relação ao banco com a ajuda do programa Working Model conforme figura 3.1(b).

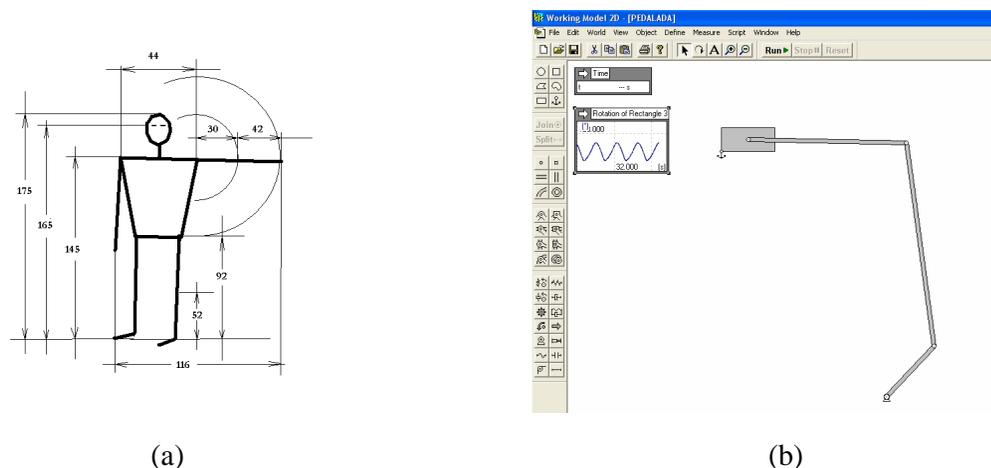


Fig. 3.1 – (a) Medidas de um ser humano de porte médio (Fonte: JOSEPH; KATHLEEN, 1999); (b) Simulação do movimento de pedalada no Working Model.

### 3.3 Escolha do material

Como o meio onde o produto será usado é corrosivo, teve-se um cuidado na escolha do material. Sabe-se que o cloro em contato com a água da piscina forma ácido clorídrico, que é agente corrosivo do aço inoxidável AISI 304 e da liga de alumínio AA 6060T5. Teve-se também a opção do níquel, do titânio, ou de um tipo de aço inoxidável especial, com maior teor de níquel na sua composição, que resistem muito bem neste meio, mas que foram logo descartados pela inviabilidade econômica. Deste modo o material escolhido para a construção do quadro foi a liga de alumínio AA 6060 T5, cerca de quatro vezes mais barata e muito mais leve do que o aço inoxidável, e também pela possibilidade de realizar anodização do material. O material escolhido para os eixos foi o aço inoxidável AISI 304, pela sua boa resistência mecânica, baixo custo relativo e pela possibilidade de realizar a passivação do material para aumentar sua resistência à corrosão.

A liga de alumínio AA 6060 T5 possui 0,45% a 0,85% de Mg, 0,3% a 0,6% de Si, 0,1% de Cu, 0,3% de Fe, 0,1% de Mn, 0,1% de Cr, 0,1% de Ti e 0,03% de Zn o que lhe proporciona uma maior facilidade de ser trabalhada, maior soldabilidade e maior resistência à corrosão do que as demais ligas termicamente tratáveis. (ALCOA, 2004).

O aço inoxidável AISI 304 em sua composição possui 0,08% de C, 2,0% de Mn, 1,0% de Si, 0,045% de P, 0,03% de S, 18,0% a 20,0% de Cr, 8,0% a 10,5% de Ni, 0,1% de N<sub>2</sub>.(NBR 5601).

### 3.4 Peças e acessórios

Como um dos objetivos é a redução de custos, adquiriu-se o maior número de componentes e acessórios existentes no mercado, o que os tornam mais baratos por serem produzidos em série. Procuraram-se acessórios fabricados em alumínio e já anodizados. Na figura 3.2 é mostrada a relação dos componentes e acessórios adquiridos no mercado.

Alguns componentes foram desenvolvidos e tiveram de ser fabricados. Para isso foram adquiridos tarugos de alumínio AA 6060T5, de aço inoxidável AISI 304 e de nylon comercial. Os processos utilizados na fabricação destes componentes foram basicamente usinagem e dobra. Na figura 3.3 é mostrada a relação de componentes fabricados.

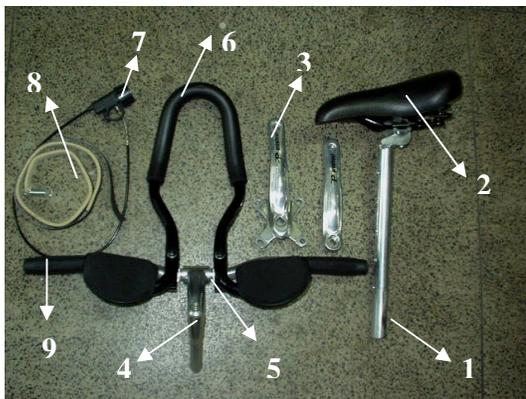


Fig. 3.2 – Acessórios adquiridos prontos.

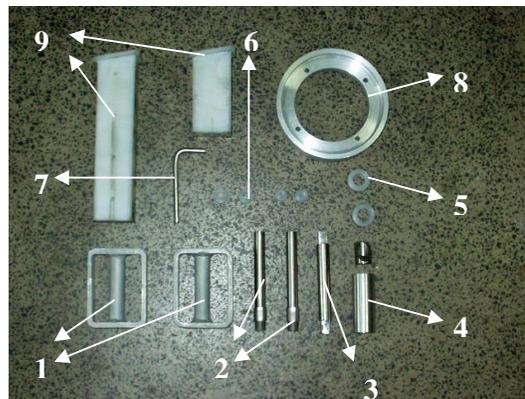


Fig. 3.3 – Peças fabricadas.

Relação dos acessórios adquiridos no mercado:

- 1 – Canote
- 2 – Banco
- 3 – Pé de vela
- 4 – Suporte do guidom
- 5 – Guidom
- 6 – Descanso de braço
- 7 – Esticador
- 8 – Cinta
- 9 – Punho

Relação dos componentes fabricados:

- 1 – Pedais
- 2 – Eixos do pedal
- 3 – Eixo central
- 4 – Cubo central
- 5 – Batentes
- 6 – Arruelas
- 7 – Pino de regulagem
- 8 – Volante
- 9 – Adaptadores

## 4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

### 4.1 Dimensionamento dos cordões de solda

Para dimensionar o tamanho do cordão de solda, contou-se com auxílio do programa educacional FTool para determinar a junção mais solicitada. Usou-se o mesmo carregamento da simulação numérica de 1600 N, resultando nos diagramas de esforços apresentados na figura 4.1 (a), (b) e (c).

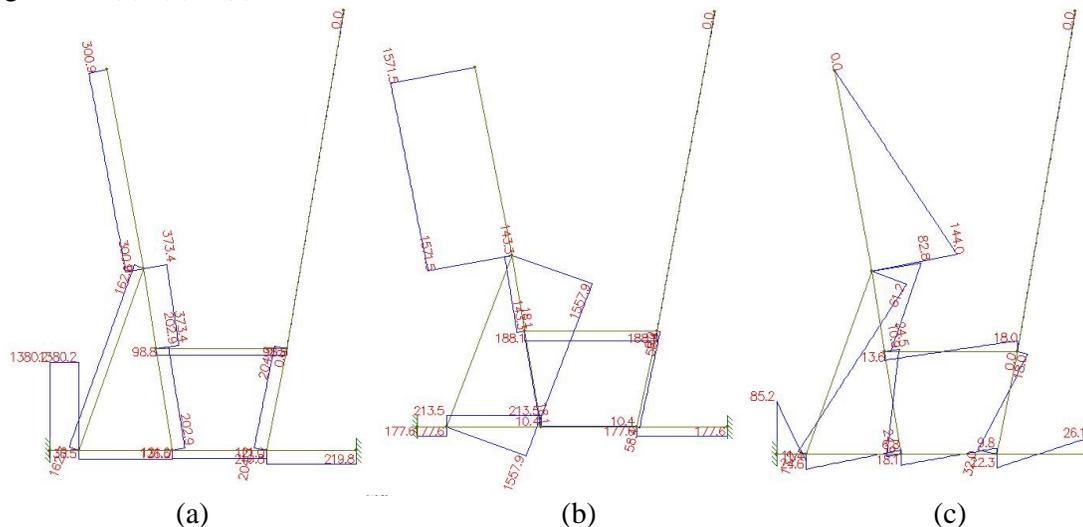


Fig. 4.1 – Diagrama de esforços (a) Cortantes; (b) Normais; (c) Fletores.

Analisando os diagramas verificou-se que a junção do reforço traseiro com o suporte do banco estava submetida a maior solicitação, com um momento fletor  $M = 144 \text{ Nm}$ , esforço normal  $N = 1571,5 \text{ N}$  e esforço cortante  $Q = 300,9 \text{ N}$ . Neste ponto, a geometria do cordão de solda, e o diagrama dos esforços, estão representados abaixo na figura 4.2.

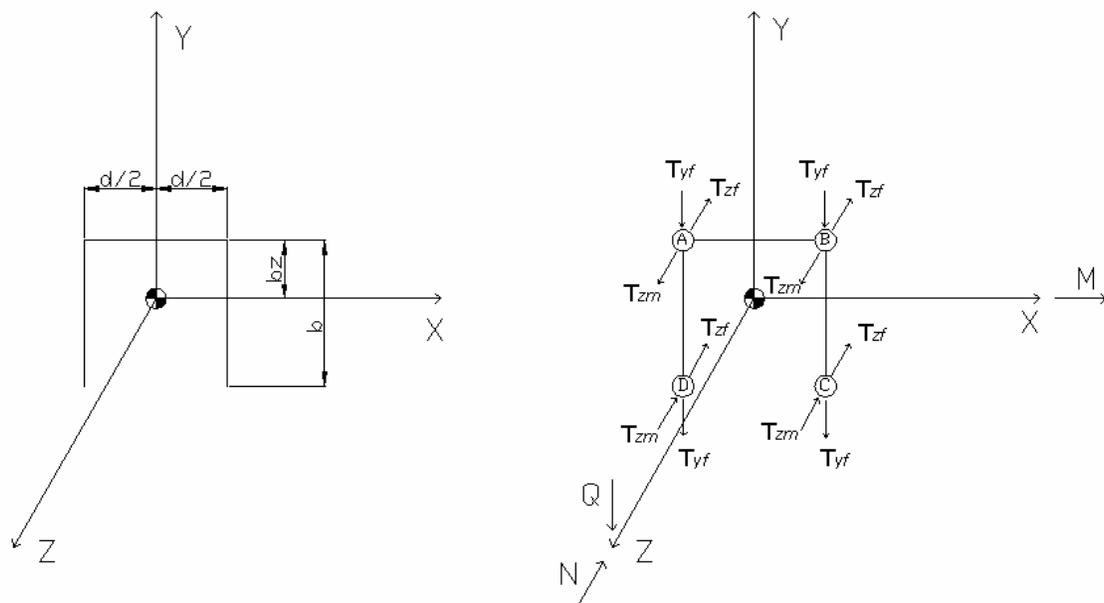


Fig. 4.2 – Geometria do cordão de solda e diagrama de esforços.

Deste modo, sabendo-se que  $d = 50,8 \text{ mm}$  e  $b = 101,6 \text{ mm}$ , calculam-se as variáveis dependentes da geometria do cordão, onde  $L_s$  é o comprimento total do cordão de solda em mm,  $b_g$  é a distância que posiciona o centro geométrico no eixo Y em mm, e  $I_x$  é momento de inércia do eixo X em  $\text{mm}^3$ . (MACHADO, 2003).

$$L_s = 2b + d \quad (1)$$

$$b_g = \frac{b^2}{2b + d} \quad (2)$$

$$I_x = \frac{b^3}{3} \left( \frac{b + 2d}{2b + d} \right) \quad (3)$$

Após, calcula-se os esforços resultantes do carregamento para os eixos principais, onde  $T_{yf}$  é o esforço devido à força na direção do eixo Y em N/m,  $T_{zf}$  é o esforço devido à força na direção do eixo Z em N/m e  $T_{zm}$  é o esforço devido ao momento na direção do eixo Z em N/m. (MACHADO, 2003).

$$T_{yf} = \frac{Q}{L_s} \quad (4)$$

$$T_{zf} = \frac{N}{L_s} \quad (5)$$

$$T_{zm} = \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} \quad (6)$$

Analisando o diagrama de esforços, percebe-se que os pontos C e D estão mais solicitados. Assim, calculam-se os esforços resultantes nas direções de cada eixo principal, onde  $T_Y$  é o somatório dos esforços na direção do eixo Y em N/m e  $T_Z$  é o somatório dos esforços na direção do eixo Z em N/m. (MACHADO, 2003).

$$T_Y = \sum T_{yf} + \sum T_{ym} \quad (7)$$

$$T_Z = \sum T_{zf} + \sum T_{zm} \quad (8)$$

Para finalizar, calcula-se o esforço resultante  $T_R$  em N/m para o ponto mais solicitado (C e/ou D). No cálculo do tamanho do cordão de solda considera-se o conceito de tensão admissível para o metal de solda, sendo que numa junta de filete, o cisalhamento está sempre no plano da garganta. Para o metal de solda AWS ER 4043, a tensão de cisalhamento admissível longitudinal ( $\tau_a$ ) é 79 MPa. Deste modo calcula-se “t” que é a garganta do cordão de solda em mm e após, “s” que é o tamanho do cordão de solda em mm. (AMERICAN WELDING SOCIETY).

$$T_R = \sqrt{T_X^2 + T_Y^2 + T_Z^2} \quad (9)$$

$$T_R = t_a t \quad (10)$$

$$s = t\sqrt{2} \quad (11)$$

#### 4.2 Simulação numérica computacional

A simulação numérica computacional foi realizada no programa comercial Ansys Workbench 8.1. A estrutura foi modelada como sólida, sendo gerados contatos para conectar as diferentes partes que a compõe. Definiram-se como restrições apenas apoios nas extremidades onde se localizam os pés de sustentação da bicicleta. Como carregamento usou-se uma força vertical de 1600 N aplicada na parte superior do canote, simulando o peso de uma pessoa de 160 kg sentada no banco. O carregamento, assim como os apoios, podem ser vistos na figura 4.3(a). Usou-se elemento sólido tetraédrico para gerar uma malha com 21314 elementos e 43588 nós, a qual pode ser vista na figura 4.3(b). Após o modelo foi processado pelo programa, tendo como resultado a distribuição de tensões de von Mises que será comentada em outro capítulo.

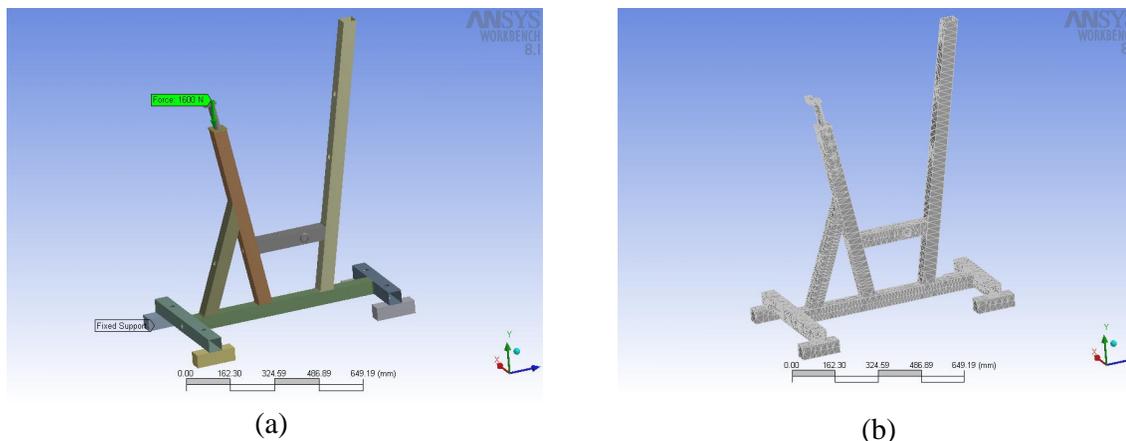


Fig. 4.3 – (a) Restrições e carregamento do modelo numérico; (b) Malha gerada do modelo numérico.

#### 4.3 Processo de soldagem do quadro

O processo escolhido para a soldagem do quadro foi o TIG, pela qualidade dada à junta soldada, usando-se uma fonte de alta frequência com corrente alternada. O gás de proteção usado foi o argônio. O metal de adição usado foi o AWS ER-4043 da liga Al-Si, escolhido através da tabela do anexo A, que conduz a composição do metal de solda a uma faixa que não provoque trinca de solidificação.

Para se definir os parâmetros de soldagem, tomou-se como base os valores da segunda linha da tabela do anexo B, que era a que mais se aproximava da espessura do metal base de 2,0 mm. A partir destes valores, soldou-se uma junta de teste para regular os parâmetros de modo que o cordão ficasse com tamanho de 3,0 mm.

Durante o processo de soldagem tomou-se um cuidado especial na limpeza das juntas, sendo estas escovadas com um escovão de aço inoxidável e após limpas com papel toalha, para que não ficasse gordura na superfície do material. Soldou-se cada componente separadamente, sendo estes primeiramente ponteados antes da construção do cordão.

#### 4.4 Problemas experimentais

##### 4.4.1 Corrosão

Para testar os possíveis danos que poderiam ocorrer no protótipo devido a corrosão, e alguns tipos de recobrimento para o material, confeccionaram-se seis corpos de prova em forma de junta “T”, soldados com os mesmo processo e parâmetros do quadro. Dois dos corpos de prova não receberam recobrimento, dois foram recobertos por pintura eletrostática e os outros dois foram anodizados por uma empresa do ramo, conforme mostrado na figura 4.4. Foram realizados dois experimentos diferentes, câmara de névoa salina e imersão, testando os tipos de recobrimento em ambos.

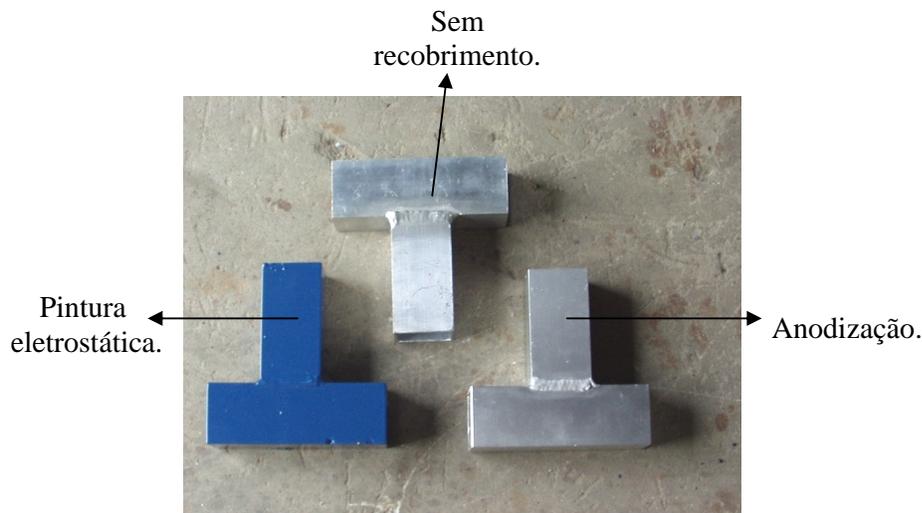


Fig. 4.4 - Corpos de prova para corrosão.

#### 4.4.1.1 Câmara de névoa salina

Este experimento é padronizado segundo NBR 8094, ASTM B 117 e DIN 50021. O teste foi realizado no Laboratório de Corrosão da UFRGS – LACOR, e consiste em expor os corpos de prova a uma névoa salina com concentração de 5% de NaCl e pH entre 6,5 e 7,0. Usou-se uma câmara de 680 L, mantida na temperatura de 35°C e pressão de 0,7 - 1,4 kgf/cm<sup>2</sup>. A superfície do material foi monitorada diariamente, tomando-se nota das modificações que ocorriam. O teste durou 312 horas.

#### 4.4.1.2 Imersão

Neste experimento os corpos de prova foram mergulhados em piscina térmica durante 40 dias. A água da piscina foi monitorada mantendo-se com temperatura média de 37°C e pH em torno de sete, ou seja, neutro. Este é o meio em que o produto geralmente será usado, possuindo cloro em contato com a água, que forma ácido clorídrico.

#### 4.4.2 Teste estrutural

O objetivo do teste estrutural é medir as deformações em pontos pré-definidos com o auxílio de extensômetros para validar o modelo numérico computacional. Foram colados três extensômetros do tipo PA-06-062BG-350-L com F.S. = 2,13 da Excel Sensores, tomando-se o cuidado de colocá-los não muito perto da região da solda, onde existe tensão residual. Colaram-se dois extensômetros, um na parte de cima e outro na parte de baixo, do perfil central inferior. O terceiro sensor foi colado no perfil de sustentação do banco, logo acima da junção com o reforço traseiro. Todos sensores foram conectados a bancada de aquisição de dados, que foi setada para que fornecesse na leitura final diretamente a deformação  $\epsilon$ . Assim, preparou-se o teste de modo a representar um caso mais real possível. O quadro da bicicleta foi simplesmente apoiado nos pontos onde se colocará os pés. Como carregamento usou-se um bloco de aço de 50 kg, pela dificuldade de colocar-se um carregamento maior, que foi pendurado na parte superior do canote. A figura 4.5 mostra a estrutura da bancada de testes.

A simulação numérica computacional, realizada para comparação, usou os mesmos parâmetros das simulações apresentadas anteriormente. A única modificação ocorreu no valor do carregamento, que passou a ser de 500 N, devida a carga de 50 kg utilizada no teste prático.



Fig. 4.5 – Montagem do teste estrutural.

## 5. ESTUDO DE CUSTOS

O estudo de custos foi realizado para dois diferentes casos, a construção do protótipo e a possível produção de um lote de 100 bicicletas. Todo o material foi comprado no comércio local, sendo que uma pesquisa pelo menor preço foi realizada. Os custos de usinagem e pintura foram obtidos diretamente com as empresas onde o trabalho foi terceirizado. O custo de soldagem foi obtido multiplicando o tempo gasto na soldagem do quadro pelo preço da hora de um soldador, sendo o mesmo método aplicado para a mão de obra de montagem. Deste modo considerou-se um salário de R\$ 1500,00 mensais para o soldador e R\$ 400,00 mensais para o auxiliar geral, com uma jornada de trabalho de 44 horas semanais.

## 6. RESULTADOS

Através da simulação do movimento de pedalada realizada no Working model, obteve-se um ângulo de  $79^\circ$  no ponto mais alto da pedalada e  $157^\circ$  no ponto mais baixo, posicionando o eixo central a 650 mm abaixo e 325 mm à frente do ponto onde o usuário senta no banco. Deste modo, partindo-se desta posição, determinou-se o ajuste de altura do banco, tanto para cima quanto para baixo.

No dimensionamento do cordão de solda, obteve-se um esforço resultante  $T_R$  nos pontos C e D de 37593,25 N/m resultando em um cordão com tamanho “s” de 0,67 mm. Porém, como o processo de soldagem TIG é manual, se torna muito difícil fazer um cordão de tamanho pequeno com boa qualidade. Assim, decidiu-se fazer um cordão com tamanho de 3mm. Poderia-se fazer cordões intermitentes, mas iriam surgir dois problemas, um seria a concentração de tensões e a baixa qualidade no início e final do cordão, e o outro seria as possíveis frestas nas junções do metal base onde não existiria a solda, que agravam o processo de corrosão. Assim, os parâmetros usados na soldagem do quadro para obter-se um cordão de 3mm são apresentados na tabela 6.1 abaixo:

Tabela 6.1 – Parâmetros usados no processo de soldagem.

Espessura (mm)	Corrente-CA (A)	Vazão de gás (l/min)	Ø eletrodo (mm)	Ø bocal (mm)	Ø vareta (mm)
2	50	11	2,4	12	1,2

A velocidade média de soldagem foi de 1,2 mm/s, sendo que nas últimas duas arestas da junta a velocidade foi maior do que nas duas primeiras, devido ao insumo de calor. Usou-se 40 varetas de 600 mm de comprimento para se soldar todo o quadro durante 3 horas de trabalho. A figura 6.1 abaixo mostra o cordão de solda de uma junção.



Fig. 6.1 - Detalhe da soldagem de uma junção do quadro.

Nos testes de corrosão realizados nos corpos de prova, verificaram-se resultados parecidos tanto para teste de névoa salina quanto para o de imersão. No primeiro, percebeu-se que a pintura eletrostática não teve aderência suficiente, sendo que o recobrimento começou a descascar. O corpo de prova sem recobrimento apresentou manchas espalhadas por toda a superfície e o corpo de prova anodizado não apresentou sinal algum de corrosão. No segundo, a pintura eletrostática também não teve aderência suficiente e o corpo de prova sem recobrimento apresentou pequenos pontos esbranquiçados perto da solda. Novamente, o corpo de prova anodizado não apresentou sinais de corrosão.

No teste estrutural com extensômetros, a leitura das deformações após a aplicação da carga no perfil central inferior foram  $\epsilon_1 = 6 \times 10^{-6}$  e  $\epsilon_2 = -5 \times 10^{-6}$  nas partes de cima e de baixo respectivamente. No perfil de sustentação do banco, a leitura da deformação foi  $\epsilon_3 = 92 \times 10^{-6}$ . Os valores da deformação, resultantes da simulação, medidos nos mesmos pontos da colagem dos extensômetros foram  $\epsilon_1 = 5,85 \times 10^{-6}$ ,  $\epsilon_2 = 5,94 \times 10^{-6}$  e  $\epsilon_3 = 91,3 \times 10^{-6}$  que são representados na figura 6.2(a) e figura 6.2(b).

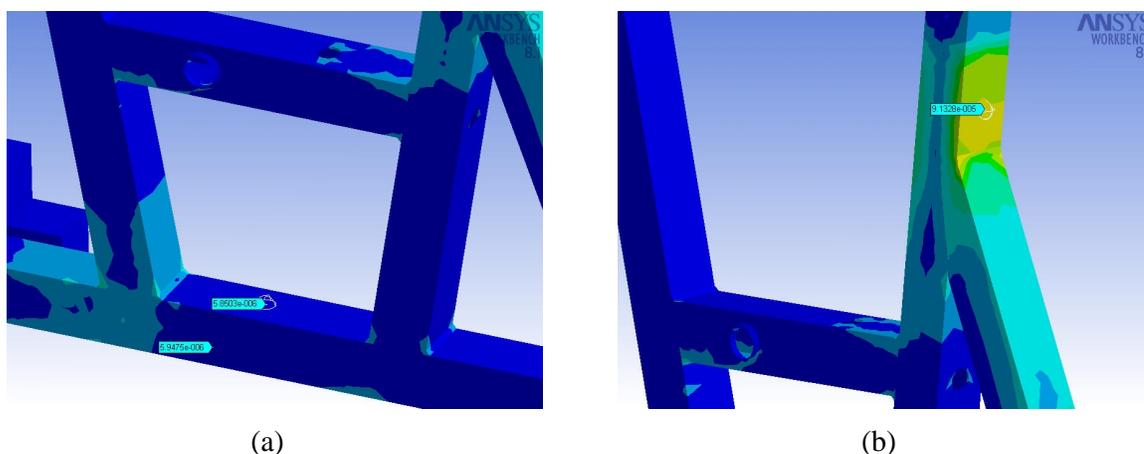


Fig. 6.2 – (a) Deformações do perfil central inferior; (b) Deformações do perfil de sustentação do banco.

Através do estudo de custos, obteve-se um valor de R\$ 932,52 para o protótipo e um valor de R\$ 586,57 para uma unidade de um lote de 100 bicicletas, sendo estes os valores do preço de custo, conforme mostra a tabela 6.2 abaixo.

Tabela 6.2 – Relação de custos do protótipo e do lote de 100 unidades.

Relação do custo de matérias para manufatura e acessórios				Protótipo		100 unidades	
Descrição	Material	Aplicação	Qde.	R\$ / un.	R\$ Total	R\$ / un.	R\$ Total
Perfil quadrado 1,98x50,8x50,8	Al6060T5	Quadro	1	R\$ 89,95	R\$ 89,95	R\$ 57,95	R\$ 57,95
Chapa de fix. da mola	Al6060T5	Quadro	1	R\$ 2,30	R\$ 2,30	R\$ 0,60	R\$ 0,60
Tarugo Ø1 1/4" x 75mm	Al6060T5	Movimento central	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00	R\$ 2,31	R\$ 2,31
Tarugo Ø5/8" x 130mm	Inox304	Movimento central	1	R\$ 7,50	R\$ 7,50	R\$ 3,18	R\$ 3,18
Tarugo Ø30 x 15mm	Nylon	Movimento central	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00	R\$ 0,40	R\$ 0,80
Tarugo Ø20 x 15mm	Nylon	Movimento central	2	R\$ 1,65	R\$ 3,30	R\$ 0,34	R\$ 0,68
Tarugo Ø5 1/2" x 35mm	Al6060T5	Sistema de carga	1	R\$ 41,50	R\$ 41,50	R\$ 21,25	R\$ 21,25
Tarugo Ø70 x 220mm	Nylon	CJ banco	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00	R\$ 16,00	R\$ 16,00
Tarugo Ø1/4" x 120mm	Inox304	CJ banco	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00	R\$ 0,50	R\$ 0,50
Chapa 1"x70x100mm	Al6060T5	CJ pedal	2	R\$ 42,00	R\$ 84,00	R\$ 6,90	R\$ 13,80
Tarugo Ø5/8" x 125mm	Inox304	CJ pedal	2	R\$ 7,00	R\$ 14,00	R\$ 3,05	R\$ 6,10
Tarugo Ø20 x 15mm	Nylon	CJ pedal	4	R\$ 1,65	R\$ 6,60	R\$ 0,34	R\$ 1,36
Tarugo Ø70 x 110mm	Nylon	CJ guidom	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00	R\$ 8,00	R\$ 8,00
Tarugo Ø1" x 35mm	Inox304	CJ guidom	1	R\$ 6,00	R\$ 6,00	R\$ 2,28	R\$ 2,28
Suporte	Al	CJ guidom	1	R\$ 18,50	R\$ 18,50	R\$ 12,10	R\$ 12,10
Guidom	Al	CJ guidom	1	R\$ 14,50	R\$ 14,50	R\$ 7,19	R\$ 7,19
Descanso	Al	CJ guidom	1	R\$ 59,00	R\$ 59,00	R\$ 38,00	R\$ 38,00
Punho	-	CJ guidom	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00	R\$ 0,80	R\$ 0,80
Banco	-	CJ banco	1	R\$ 13,50	R\$ 13,50	R\$ 11,10	R\$ 11,10
Canote	Al	CJ banco	1	R\$ 18,50	R\$ 18,50	R\$ 16,10	R\$ 16,10
Esticador	-	Sistema de carga	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00	R\$ 7,40	R\$ 7,40
Cinta	-	Sistema de carga	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00	R\$ 8,30	R\$ 8,30
Pé de vela	Al	Movimento central	1	R\$ 59,00	R\$ 59,00	R\$ 53,40	R\$ 53,40
Parafusos, porcas e arruelas	Inox304	-	1	R\$ 12,75	R\$ 12,75	R\$ 9,50	R\$ 9,50
Pé de apoio	-	Quadro	4	R\$ 1,13	R\$ 4,52	R\$ 0,62	R\$ 2,48
			<b>Valor:</b>		<b>R\$ 530,15</b>		<b>R\$ 289,20</b>
<b>Relação do custo dos serviços de manufatura</b>							
<b>Descrição</b>			<b>Valor do protótipo</b>		<b>Valor 100 unidades</b>		
Trabalho de usinagem dos componetes			R\$ 280,00		R\$ 200,00		
Trabalho de anodização do quadro e componentes			R\$ 90,00		R\$ 65,00		
Trabalho de soldagem do quadro			R\$ 25,56		R\$ 25,56		
Trabalho de montagem e serviços gerais			R\$ 6,81		R\$ 6,81		
		<b>Valor:</b>	R\$ 402,37		R\$ 297,37		
<b>Valor final do protótipo:</b>		<b>R\$ 932,52</b>					
<b>Valor final de 1 un. em um lote de 100:</b>		<b>R\$ 586,57</b>					

O resultado da simulação numérica forneceu uma distribuição de tensões de von Mises, sendo que na região da junção mais solicitada, o valor da tensão ficou em torno de 22 MPa, conforme figura 6.3 abaixo.

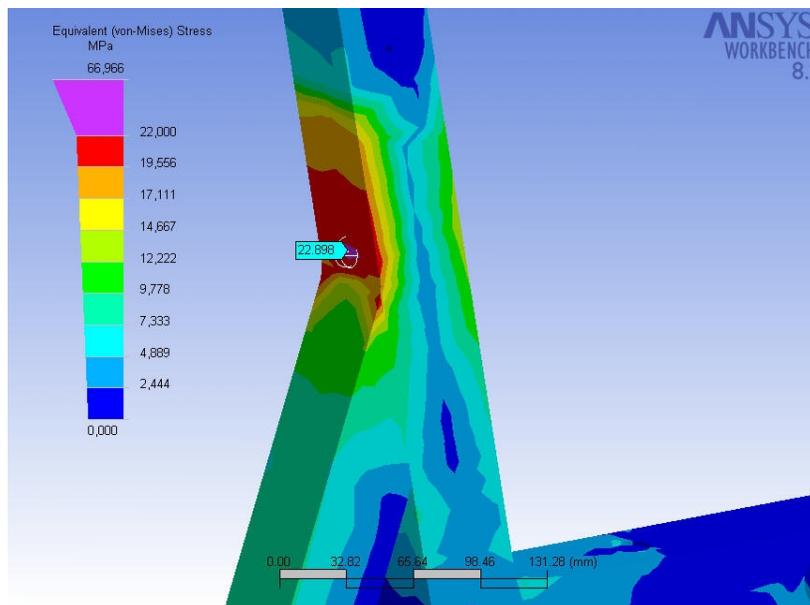


Fig. 6.3 - Distribuição de tensões de von Mises da junção mais solicitada.

Como resultado final, obtém-se o protótipo construído. Logo abaixo temos a figura 6.4 que representa o desenho do protótipo realizado no programa Solid Works e a figura 6.5 que representa o protótipo construído.



Fig 6.4 - Desenho do protótipo.



Fig 6.5 - Protótipo construído.

## 7. CONCLUSÕES

Analisando este trabalho, verificou-se que o alto custo do único produto existente no mercado faz com que a maioria das pessoas não tenha acesso a esta alternativa. Com um custo bem menor do que a existente, a bicicleta apresentada neste trabalho, torna-se viável economicamente, além de possuir um peso de 14 kg, sendo mais leve e fácil de manusear.

Através da análise ergométrica, obtiveram-se resultados satisfatórios dos ângulos formados entre o fêmur e a fíbula durante o movimento de pedalada de  $79^\circ$  e  $157^\circ$  no ponto mais alto e mais baixo respectivamente. Deste modo, as dimensões adotadas, assim como os ajustes, se mostram válidas para a construção do protótipo.

Os materiais escolhidos possuem boa resistência a corrosão se forem devidamente recobertos. No caso da liga de alumínio AA 6060 T5, deve-se utilizar a anodização da superfície como recobrimento, sendo que esta proporciona ao material uma ótima proteção contra a corrosão, conforme verificado nos testes realizados. Porém, um dos problemas da anodização, é a diferença de cor nos cordões de solda, os quais ficam mais escuros devido ao material de adição ser diferente do material base. No caso do aço inoxidável AISI 304, deve-se realizar a passivação da superfície, o que aumenta a resistência à corrosão do material.

A resistência mecânica do quadro mostrou-se satisfatória através da simulação numérica computacional. A simulação pode ser considerada confiável, pois os resultados foram similares àqueles obtidos com os extensômetros, onde as deformações dos pontos medidos foram quase que iguais às do programa. Usando-se um carregamento equivalente ao de uma pessoa de 160 kg, o nível de tensões na região mais solicitada ficou em torno de 22 MPa, quase cinco vezes menor do que a tensão de escoamento do material, a qual é de 105 MPa. Mesmo tendo sido realizado um teste estático, pode-se dizer que a estrutura possui boa confiabilidade às solicitações mecânicas, mas no futuro a resistência à fadiga deve ser verificada.

O processo TIG usado para soldar o quadro teve um ótimo resultado. Após de se determinar os parâmetros, todas as soldas foram realizadas com facilidade. Porém, em algumas junções, teve-se de interromper a solda do cordão para limpeza da superfície, que dificultava o processo. Assim, um dos fatores determinantes na soldagem da liga de alumínio é a limpeza da superfície, que deve ficar livre de graxas e impurezas.

Ao final deste trabalho, alcançou-se o principal objetivo de projetar e construir a bicicleta, obtendo-se o protótipo pronto.

## 8. REFERÊNCIAS

ALCOA SA. **Composição dos materiais**. Disponível em: [www.alcoa.com.br](http://www.alcoa.com.br) Acesso em: 23 jul. 2004, 19:00.

AMERICAN WELDING SOCIETY **Welding Handbook**. 8<sup>a</sup> ed. Miami: Materials and applications, 1999, USA.

CAMARGO, ROGÉRIO. **Avaliação biomecânica**. Disponível em: [www.bikemagazine.com.br/treino/biomecanica/biomecanica.htm](http://www.bikemagazine.com.br/treino/biomecanica/biomecanica.htm). Acesso em: 28 ago. 2004, 21:00.

GENTIL, VICENTE **Corrosão**. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2003.

JOSEPH, HAMIL; KATHLEEN, M. KNUTZEN **Bases biomecânicas do movimento humano**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Manole, 1999.

MACHADO, IVAN GUERRA **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. 1<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Pallotti 1996.

MACHADO, IVAN GUERRA **Notas de aula da disciplina de Projeto de juntas soldadas**. Porto Alegre, 2003.

MADOV, NATASHA **Queimadas com água**. Revista Veja. São Paulo: Abril, 2003.

NBR 5601 – Classificação por composição química dos aços inoxidáveis.

OKUMURA, T; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1982.

## 9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

GOMES, MÁRIO RENNÓ **Emprego do Alumínio e suas Ligas**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: ABM, 1976.

KAISER ALUMINUM **Rod, bar and wire: product information**. 3<sup>a</sup> ed. Oakland: Kaiser Aluminum, 1965.

KAISER ALUMINUM **Welding**. 3<sup>a</sup> ed. Oakland: Kaiser Aluminum, 1978.

VASUDEVAN, A. K.; DOHERTY, R. D. **Aluminum alloys – contemporary research and applications**. 31<sup>a</sup> ed. London: Academic Press Inc. Ltd., 1997.

## ANEXO A – Guia para a escolha da liga de adição.

LIGA BASE	7004, 7005, 7019	6061, 6063, 6101, 6351, 6201, 6261, 6060	5454	5083	5086	5052	3004	1100, 1200, 3003	1050, 1350
1050 1350	5183	4043	5356	5356	5356	5356	4043	4043	4043
	5183	4043	5154	5356	5356	5154	1050	1050	1050
	4043	4043	5356	5356	5356	5356	4043	4043	4043
	5183	5356	5356	5356	5356	5356	1050	1050	1050
1100,1200 3003	5183	4043	5356	5356	5356	5356	4043	4043	
	5183	4043	5154	5356	5356	5154	1050	1050	
	4043	4043	5356	5356	5356	5356	4043	4043	
	5183	5356	5356	5356	5356	5356	1050	1050	
3004	5183	4043	5356	5183	5356	5356	4043		
	5183	4043	5554	5356	5356	5154	1050		
	5183	4043	5356	5356	5356	5356	4043		
	5183	5356	5356	5356	5356	5356	1050		
5052	5183	5183	5356	5183	5356	5356			
	5183	5356	5554	5356	5356	5154			
	5183	5356	5356	5356	5356	5356			
	5183	5356	5154	5154	5356	5154			
5086	5183	5183	5356	5183	5183				
	5183	5356	5554	5356	5356				
	5183	5356	5356	5356	5356				
	5183	5356	5154	5356	5356				
5083	5183	5183	5183	5183					
	5183	5356	5356	5183					
	5183	5356	5356	5183					
	5183	5356	5154	5356					
5454	5183	5183	5356						
	5183	5356	5554 <sup>9</sup>						
	5183	5356	5356						
	5183	5356	5554						
6061,6063 6101, 6351 6201, 6261 6060	5183	4043							
	5183	4043							
	5183	4043							
	5183	5356							
7004, 7005 7019	5556								
	5556								
	5556								
	5556								

**COMO UTILIZAR O GUIA:**

- 1- Localize as ligas-base a serem soldadas (uma na coluna, outra na linha).
- 2- Encontre o quadro onde a coluna intercepta a linha.
- 3- Esse quadro contém as ligas de adição mais indicadas para a soldagem desejada, obedecendo os seguintes critérios:
  - 1º- máxima resistência mecânica
  - 2º- máxima resistência à corrosão
  - 3º- ausência de fissuração a quente
  - 4º melhor semelhança após anodização
  - 5º indicada para temperaturas elevadas

## ANEXO B – Parâmetros para soldagem TIG do Alumínio e suas ligas.

188 Soldagem & Técnicas Conexas: Processos

**Tabela 7.10 - Parâmetros para Soldagem TIG do Alumínio e suas Ligas\***

Espessura (mm)	Corrente-CA (A)	Vazão do Gás (l/min)	Diâmetros (mm)			Nº de Passes	Junta e Posição†
			Eletrodo	Bocal	Vareta		
1,6	70-100	9	1,6	9	2,4	1	B-(P,H,V)
1,6	60-90	12	1,6	9	2,4	1	B-(SC)
3,2	125-160	9	2,4	10	3,2	1	B-(P)
3,2	115-150	9	2,4	10	3,2	1	B-(H,V)
3,2	115-150	12	2,4	10	3,2	1	B-(SC)
6,4	225-275	14	4,0	14	4,8	2	D(60°)-(P)
6,4	200-240	14	4,0	13	4,8	2	D(60°)-(H,V)
6,4	210-260	16	4,0	14	4,8	2	D(100°)-(SC)
9,5	325-400	16	6,4	16	6,4	2	D(60°)-(P)
9,5	250-320	16	4,8	15	6,4	3	D(60°)-(H,V)
9,5	275-350	19	4,8	15	6,4	3	D(100°)-(SC)
12,7	375-450	16	6,4	16	6,4	3	D(60°)-(P)
12,7	250-320	16	4,8	15	6,4	3	D(60°)-(H,V)
12,7	275-340	19	4,8	15	6,4	4	D(100°)-(SC)

\* Gás de proteção argônio. Eletrodo EWP ou EWZr em CA; † Tipo da Junta como indicado na Fig.7.17 e ângulo do chanfro entre parênteses; ‡ Posições: P-Plana; H-Horizontal; V-Vertical; SC-Sobrecabeça.