

**Universidade de São Paulo Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica**

Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Flávio Namura Macari

São Paulo
Dezembro 2008

**Universidade de São Paulo Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica**

Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
Obtenção do título de Graduação em Engenharia

Flávio Namura Macari

Orientadora: Profa. Dra. Izabel
Fernanda Machado

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
Dezembro 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Macari, Flávio Namura

**Projeto e construção de uma cadeira para remo adaptável
/ F.N. Macari. – São Paulo, 2008.**

p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Remo 2.Cadeiras 3.Deficiente físico I.Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Mecânica II.t.**

AGRADEIMENTOS

Agradeço à Profa. Izabel Fernanda Machado pela dedicação, interesse e apoio neste projeto; à Eliana Mutchnik, ao Júlio Noronha e ao Marcelo Acácio Rodrigues pelas idéias e conselhos utilizados no desenvolvimento deste trabalho; ao Francisco dos Reis Faustino, técnico do LFS – Laboratório de Fenômenos de Superfície, e à Brasmontan Comércio e Serviços LTDA, que colaboraram na construção do protótipo.

RESUMO

O esporte geralmente é considerado como uma importante forma de inclusão social de pessoas com mobilidade reduzida na sociedade. É nesse contexto que este trabalho de formatura se insere, objetivando o projeto e a construção de uma cadeira que possibilite a prática do remo adaptável, a qual deverá ser utilizada no barco e no remo-ergômetro, permitindo que atletas portadores de deficiências físicas possam remar nesta modalidade. Para tanto, a cadeira deverá possuir algumas regulagens de altura e inclinação do encosto e regulagem longitudinal e transversal do assento para que diferentes atletas pára - olímpicos possam utilizá-la, de forma relativamente prática. Além disso, ela deve assegurar conforto, segurança, bom desempenho aos atletas e obedecer às normas das federações competentes.

ABSTRACT

The sport is generally considered as an important way of social inclusion of physically disabled people in the society. This report aims the project and manufacture of a seat for the practice of adaptive rowing, which can be used in the rowing boat and out of it as a training device, allowing physically disabled people to practice rowing. The seat has fastenings and simple adjustments (height and inclination) enabling its use for different body builds. Furthermore, this project should provide security, comfort and good performance for its user and must be in conformity with the official rules of the rowing federations.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores das incógnitas apresentadas na figura 10.....	27
Tabela 2: Possíveis distâncias entre os trilhos. Fonte [4].....	29
Tabela 3: Dimensões do perfil em U, seguindo figura 14.....	31
Tabela 4: Tabela comparativa com as massas das cadeiras analisadas.....	51
Tabela 5: Estimativas de custos referente à execução deste projeto.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Remo com 4 remadores, mais 1 timoneiro. Fonte: [6].	3
Figura 2: Remo double skiff. Fonte: [6].	4
Figura 3: Remo single skiff. Fonte: [6].	4
Figura 4. Diagrama de tensão-deformação de engenharia, característica de um aço ABNT 1010.	8
Figura 5: Elemento (cubo) sob tensões normais e de cisalhamento. Fonte [8].	11
Figura 6: Tensão normal devido à flexão. Fonte [8].	13
Figura 7: Momento fletor com carregamento equivalente. Adaptado [3].	14
Figura 8: Representação do caso de flambagem estudado. Fonte [8].	16
Figura 9: Cadeiras de rodas esportivas para prática de: a) basquete; b) basquete; c) corrida; d)tênis. Fonte [11] e [12].	25
Figura 10: Esquema das dimensões e dos esforços aplicados na cadeira.	26
Figura 11: Desenho da estrutura do assento.	28
Figura 12: Regulagens transversal e longitudinal da cadeira. Fixação do perfil em U junto ao trilho do barco.	30
Figura 13: Secção transversal do perfil em U.	30
Figura 14: Perfil em U separado em barras verticais e horizontal com as respectivas forças aplicadas.	31
Figura 15: Cadeira na regulagem de altura mais baixa (sem encosto).	34
Figura 16: Cadeira com encosto na regulagem de 270 mm (apenas uma estrutura)..	35
Figura 17: Cadeira com encosto na regulagem de 560mm (duas estruturas).	35
Figura 18: Cadeira com regulagem de inclinação.	36
Figura 19: Detalhe da regulagem de inclinação (articulação e chapa com furos).	37
Figura 20: Cadeira com barra lateral comum (regulagem de inclinação).	38
Figura 21: Esquema dos esforços aplicados na chapa.	38
Figura 22: Representação das tensões em um bloco infinitesimal da chapa de aço do assento.	39
Figura 23: Assento acolchoado fixo ao assento por duas tiras de velcro.	41
Figura 24: Estrutura do encosto (marrom claro) com velcro (vermelho).	42

Figura 25: Encosto acolchoado (3 módulos em azul marinho), fixados à estrutura da cadeira.	43
Figura 26: Fixação da cinta de segurança.	44
Figura 27: Cadeira com cinta de segurança.	44
Figura 28: Foto do remo-ergômetro.	45
Figura 29: Utilização do grampo para fixação da cadeira ao remo-ergômetro.	46
Figura 30: Ressalto da cadeira para posicionamento simétrico junto ao remo-ergômetro.	46
Figura 31: Foto do “pré-protótipo” construído.	47
Figura 32: Detalhe das guias e dos grampos na fixação da cadeira junto ao remo-ergômetro.	48
Figura 33: Cadeira e remo-ergômetro.	49
Figura 34: Cadeira fixada no barco.	50
Figura 35: Fixação das regulagens com a)parafuso e porca borboleta e com b)parafusos e cupliha.	52
Figura 36: Protótipo final.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
3.1. Propriedades mecânicas dos materiais.....	7
3.1.1. Resistência dos Materiais.....	7
3.1.2. Propriedades mecânicas dos materiais.....	8
3.2. Esforços.....	10
3.2.1. Tensão e deformação.....	11
3.2.2. Tensão normal.....	12
3.2.3. Força de cisalhamento e momento fletor.....	13
3.3. Concentração de tensão.....	15
3.4. Flambagem.....	15
3.5 Análise dos demais componentes da cadeira.....	16
3.5.1 Parafuso – elemento de fixação.....	16
3.5.2 Deformação da chapa do assento.....	17
4. MÉTODO.....	20
5. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	22
6. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES, PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA CADEIRA.....	24
6.1 Estrutura da cadeira.....	24
6.2 Trilhos do assento.....	28
6.3 Estrutura do encosto.....	33
6.4 Chapa de aço do assento.....	38
6.5 Revestimento anti-ferrugem.....	39
6.6 Assento e encosto acolchoado.....	40
6.7 Cinta de fixação.....	43
6.8 Fixação da cadeira no remo-ergômetro.....	45
7. ANÁLISE DO PROJETO E RESULTADOS FINAIS.....	47
8. CONCLUSÕES E SUGESTÃO DE MELHORIAS.....	54
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

ANEXO A.....	58
--------------	----

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde estima que 10% a 15% da população mundial sofre algum tipo de deficiência, representando quase 1 bilhão de pessoas [1]. O Censo de 2000 revelou que no Brasil 14,5% da população é portadora de alguma necessidade especial, totalizando 24,5 milhões de pessoas, destacando-se a região nordeste do país com o maior percentual de deficientes, aproximadamente 16,5% [2]. Segundo o IBGE, a população de deficientes no Brasil divide-se na seguinte proporção: 48% são vítimas de deficiência visual, 22% de deficiência motora, 16% auditiva, 8% mental e 4% física [2].

Deficiência física é o nome dado à caracterização dos problemas que ocorrem no cérebro ou sistema locomotor, que levam ao mau funcionamento ou paralisia dos membros inferiores e/ou superiores, podendo ter várias causas. Entre as principais, estão os fatores genéticos, virais ou bacterianos, neonatais e traumáticos. As deficiências físicas apresentam vários graus de comprometimento do aparelho locomotor, sistema muscular e nervoso, de acordo com a lesão ocorrida. Isso é levado em conta na classificação dos para-atletas de diversas modalidades em categorias específicas. A elegibilidade é definida da seguinte forma, para cada uma das classes [3]:

• LTA (pernas, tronco e braços)

Deficiência intelectual: estabelecida pela Federação Internacional de Pessoas com Inabilidade Intelectual (INAS-FID).

Deficiência visual: o remador deve ser classificado pela Federação Internacional de Esportes de Cegos (IBSA) como B1, B2 ou B3. Mesmo assim, os atletas devem usar vendas aprovadas pela FISA quando estiverem na água, seja no treino ou na competição, do início até o final.

Deficiência física: o remador deve ser avaliado por um classificador da FISA (Fédération Internationale des Sociétés d’Aviron), através do Teste de Classificação Funcional. As características do para-atleta desta categoria são: amputação (pelo menos até a altura da articulação metatarsiana de um dos pés ou a ausência completa de 3 dedos de uma das mãos); prejuízo neurológico (equivalente a uma lesão

incompleta em S1); paralisia cerebral (classe 8, de acordo com a CP-ISRA - Associação Internacional de Esporte e Recreação para Paralisados Cerebrais); cegueira (10% de visão no melhor olho, com a melhor correção); prejuízo intelectual (critérios da INAS-FID).

• **TA (tronco e braços)**

Deficiência física: As características do pára-atleta desta categoria são: amputação bilateral na altura dos joelhos ou quadríceps enfraquecidos; combinação de ambos (uma perna amputada na altura do joelho e uma com o quadríceps fraco); prejuízo neurológico equivalente a uma lesão completa em L3 ou uma lesão incompleta em L1; paralisia cerebral: classe 5 (CP-ISRA).

• **A (braços apenas)**

Deficiência física: os classificadores devem fazer um Teste de Classificação Funcional para avaliar esses remadores. As características do pára-atleta desta categoria são: paralisia cerebral - classe 4 (CP-ISRA); prejuízo neurológico equivalente a uma lesão completa em T12 ou uma lesão incompleta em T10; deficiência funcional do músculo reto abdominal.

Os números apresentados pela Organização Mundial de Saúde mostram que, é evidente que o número de pessoas portadoras de alguma deficiência é elevado, exigindo-se um grande esforço da sociedade para que trabalhos de inclusão social sejam desenvolvidos, com intuito de melhorar a qualidade de vida dessa parte da população, alcançando um elevado nível de independência social e política. Um dos meios para realização dessa tarefa é a prática de esportes, através da adaptação de algumas regras e equipamentos. A partir dessas idéias, surgiram modalidades esportivas adaptadas para os diferentes níveis de deficiência dos atletas, que são praticadas em campeonatos mundiais e em jogos pára – olímpicos.

É neste contexto que se insere o remo adaptável, como uma modalidade do remo voltada a portadores de necessidades especiais. No Brasil, o remo adaptável surgiu no início dos anos 80 no Rio de Janeiro como um programa de reabilitação e lazer através do remo, que foi batizado de “Remo Adaptado”, beneficiando seus

praticantes, inicialmente portadores de deficiências físicas e mentais e, depois, deficientes auditivos, com uma melhoria da qualidade de vida através da inserção social e dos benefícios à saúde, ambos oriundos da prática esportiva [4]. Em 2006, realizou-se o Seminário "Remar é Possível", espécie de conferência, que firmou a parceria entre a Secretaria da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida (SEPED), Secretaria de Esportes, Lazer e Recreação (SEME) e instituições ligadas ao Paradesporto e ao Remo, com objetivo de divulgar todas as informações sobre a modalidade do remo adaptável: elegibilidades, tipos de barcos, treinamentos esportivos e especializados, características das pessoas, potencialidades, regras e regulamentos do esporte. O Seminário motivou o Comitê Para-olímpico Brasileiro e a Confederação Brasileira de Remo (CBR) a assinarem um documento de parceria, que garante a participação de atletas brasileiros nas Para-olimpíadas de Pequim (2008) e em todas as competições mundiais da modalidade [5].

Na prática do remo, o assento é móvel em relação ao barco e corre num trilho na direção longitudinal de forma que o atleta, ao remar, movimenta o corpo, aumentando o ângulo da remada e utiliza a força das pernas. Já no remo adaptável, a elegibilidade dos atletas segue algumas regras, para que as competições sejam realizadas de forma justa, garantindo que apenas pessoas com deficiências semelhantes possam participar na mesma modalidade. Existem 3 classes no remo adaptável [3], sendo elas:

- **LTA (pernas, tronco e braços)** → remadores que possuem alguma deficiência, mas que podem usar suas pernas, tronco e braços e utilizar um assento deslizante no barco. Remadores LTA devem ter o mínimo de desabilidade exigida em pelo menos uma das seguintes deficiências: intelectual, visual e física.

Categorias de barco: 4 com timoneiro (LTA 4+), como apresentado na figura 1.

Tripulação: mista (2 homens e 2 mulheres).

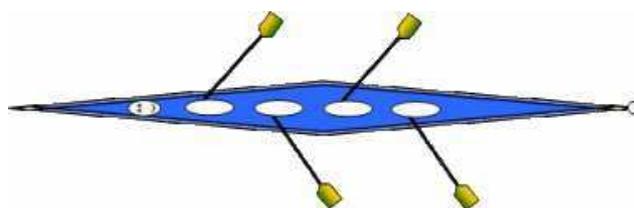


Figura 1: Remo com 4 remadores, mais 1 timoneiro. Fonte: [6].

- **TA (tronco e braços)** → para remadores que têm movimento de tronco, mas que não possuem condições de utilizar um assento deslizante, devido a problemas significantes nos membros inferiores.

Categoria de barco: double skiff (TA 2x), conforme apresentado na figura 2.

Tripulação: mista (1 homem e 1 mulher).

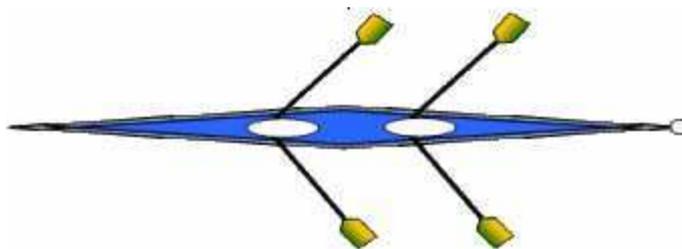


Figura 2: Remo double skiff. Fonte: [6].

- **A (braços apenas)** → para remadores que possuem nenhuma ou mínima função de tronco. O remo deve ser movido com a força dos braços e/ou dos ombros.

Categoria de barco: single skiff (A 1x), apresentado na figura 3.

Tripulação: masculina ou feminina.

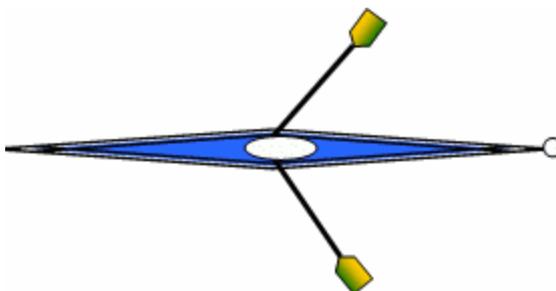


Figura 3: Remo single skiff. Fonte: [6].

Este trabalho objetiva o projeto e a construção de uma cadeira que possibilite a prática do remo adaptável. Esta cadeira deverá ser utilizada no barco e no remo-ergômetro, permitindo que atletas portadores de deficiências físicas possam remar na modalidade do remo adaptável. Para tanto, a cadeira deverá possuir algumas regulagens de altura e de inclinação para que diferentes atletas pára - olímpicos possam utilizá-la, de forma relativamente prática, desde que possuam deficiências

semelhantes. Além disso, ela deve assegurar conforto, segurança, bom desempenho aos atletas e obedecer às normas das federações competentes.

Além disso, foi feita a inscrição desse tema de trabalho de formatura no Poli-Cidadã.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é projetar e construir uma cadeira que possibilite a prática do remo adaptável. Esta cadeira deverá ser utilizada no barco e no remo-ergômetro, permitindo que atletas portadores de deficiências físicas possam remar na modalidade do remo adaptável. Para tanto, a cadeira deverá possuir algumas regulagens de altura e de inclinação para que diferentes atletas pára - olímpicos possam utilizá-la, de forma relativamente prática. Isso garantirá que um maior número de atletas com características físicas diferentes possa utilizar a mesma cadeira nos treinos e competições. As regulagens exigidas pelos atletas gerarão um maior conforto ao remar e este projeto trará inovações, quando comparado ao projeto de cadeiras existentes no mercado e ao de cadeiras que foram projetadas em trabalhos de formatura anteriores [4] e [7]. Vale à pena ressaltar que a cadeira será fixa, ou seja, ela poderá ser utilizada por atletas da classe **TA** (tronco e braços) e **A** (apenas braços).

Tem-se também como objetivo que a cadeira projetada tenha um custo de fabricação inferior às cadeiras disponíveis no mercado. Será construído um protótipo e o custo da cadeira será feito com base no custo do protótipo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Este texto apresenta a fundamentação teórica referente aos cálculos realizados para o projeto da estrutura da cadeira para prática do remo adaptável. São apresentadas as propriedades mecânicas e as equações de equilíbrio utilizadas para esses cálculos.

3.1. Propriedades mecânicas dos materiais

3.1.1. Resistência dos Materiais

A mecânica ou resistência dos materiais lida com o comportamento dos corpos sólidos sujeitos a carregamentos, com o objetivo de se determinar tensões, deformações e deflexões de estruturas para que se possa realizar de forma segura o projeto do protótipo em questão.

Uma carga ou força axial, a força P , é aplicada perpendicularmente à secção a ser analisada, resultando em tração ou compressão. Se essa força for dividida pela área da secção transversal A , surge a tensão (que pode ser de tração ou de compressão) e é apresentada na eq.(1). A unidade de medida de tensão no SI é Pa ou N/m^2 e a equação (1) só é válida somente se a tensão for uniformemente distribuída sobre a secção transversal da estrutura estudada, ou seja, a força P precisa estar aplicada no centróide da área da secção transversal.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

O alongamento por unidade de comprimento ou a deformação normal (ϵ) é dada pela razão do alongamento total (δ) pelo comprimento total inicial (L_0), como apresentado na equação (2). Assim, a estrutura irá ter o seu comprimento alterado,

podendo sofrer um encurtamento, caso a tensão seja de compressão, ou um alongamento, caso seja de tração.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2)$$

A deformação normal é adimensional, pois é uma razão entre comprimentos, e considera que o material analisado seja homogêneo.

3.1.2. Propriedades mecânicas dos materiais

Para se avaliar o comportamento mecânico dos materiais, são executados ensaios em laboratórios, como o ensaio de tração. Durante este ensaio é construído o diagrama de tensão-deformação. Para tanto, utiliza-se uma máquina de teste de tração, a qual aplica uma força e, utilizando-se extensômetros, as deformações são medidas. Um exemplo de diagrama de tensão por deformação é apresentado na figura 4.

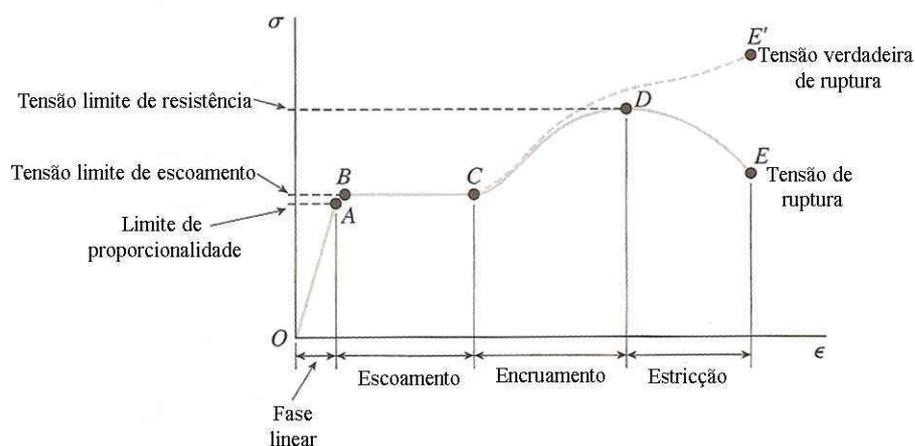


Figura 4. Diagrama de tensão-deformação de engenharia, característica de um aço ABNT 1010. Legenda: A: tensão limite de proporcionalidade; B e C: tensão limite de escoamento; D: tensão limite de resistência; E: tensão de ruptura; E': tensão verdadeira de ruptura. Fonte [8].

Conforme apresentado na figura 4, o diagrama começa com uma linha reta da origem O ao ponto A, mostrando que a relação entre tensão e deformação é linear e proporcional. A tensão no ponto A é o limite de proporcionalidade e a inclinação dessa reta de O até A está relacionada com o módulo de elasticidade ou módulo de Young. O ponto B é chamado de ponto de tensão limite de escoamento. A partir do ponto B, um alongamento considerável do material ocorre sem um aumento notável de força de tração. Entre os pontos B e C, o material atinge o regime plástico, ou seja, as deformações são permanentes, sofrendo encruamento. Já entre os pontos C e D, para que ocorra deformação do corpo-de-prova há necessidade de um aumento de carga e no ponto D o material atinge a tensão limite de resistência. A figura 4 também mostra a curva real de tensão-deformação, ou seja, a curva CE', que é obtida através do cálculo da tensão com a área real do corpo-de-prova. Com o alongamento do corpo-de-prova, ocorre uma contração lateral do mesmo (estricção), mas a diminuição da área é pequena até as tensões representadas pelo ponto C. Após ser atingida a tensão limite de resistência (D), a redução da área do corpo-de-prova fica evidente e surge uma forte estricção e a área real do corpo-de-prova diminui. A carga total que a estrutura pode suportar diminui depois que a tensão limite de resistência (D) é atingida, devido à diminuição da área.

Nos materiais que não possuem um ponto de escoamento nítido e que sofrem grandes deformações depois que o limite de proporcionalidade é excedido, uma tensão de escoamento arbitrária pode ser determinada (a tensão de escoamento equivalente) através do método da equivalência. Traça-se uma linha no diagrama de tensão-deformação paralela à porção linear inicial da curva, deslocada de 0,02% de deformação à direita. A intersecção dessa linha com a curva de tensão-deformação define a tensão de escoamento equivalente.

Alguns materiais apresentam deformações, quando carregados por longos períodos de tempo, principalmente sob altas temperaturas. Essa propriedade é chamada de fluência, que não está relacionada com os objetivos deste trabalho.

No regime elástico, o material retorna às dimensões originais durante o descarregamento. A relação linear entre tensão e deformação é dada pela relação (3) e é chamada de Lei de Hooke.

$$\sigma = E.\varepsilon \quad (3)$$

Onde:

σ : tensão axial;

ε : deformação axial;

E: módulo de elasticidade ou módulo de Young (relacionado com a inclinação do diagrama de tensão-deformação na região elástico linear).

O coeficiente de Poisson mede o quanto o alongamento axial é acompanhado pela contração lateral, conforme apresentado pela relação (4). Vale a pena destacar que o coeficiente de Poisson é válido apenas para barras de material homogêneo, isotrópico (propriedades elásticas devem ser as mesmas em todas as direções perpendiculares ao eixo longitudinal) e carregadas com tensão uniaxial.

$$\nu = \frac{\textit{deformação}_\textit{lateral}}{\textit{deformação}_\textit{axial}} \quad (4)$$

3.2. Esforços

Nessa seção, serão discutidos os corpos rígidos que compõe o sistema em equilíbrio (os diversos componentes que fazem parte da cadeira), para que reações de apoio sejam calculadas a partir das cargas impostas ao mesmo. Como sistema está parado (ou mesmo se ele estivesse se movendo com velocidade linear ou angular constante), sabe-se que a aceleração é zero e, conseqüentemente, que ele está em equilíbrio (o equilíbrio será estático, caso o sistema esteja em repouso). No equilíbrio, a soma de todos os vetores de força e a soma de todos os vetores de momento, projetados em cada uma das três direções ortogonais (x, y, z), sobre um sistema serão zero, conforme apresentado pelas equações (5).

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & \quad \sum F_y = 0 & \quad \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0 & \quad \sum M_y = 0 & \quad \sum M_z = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

O uso dos diagramas de corpo livre e as relações (5) permitem que as reações de apoio em função do carregamento sejam determinadas e, assim, os cálculos podem ser desenvolvidos.

3.2.1. Tensão e deformação

Os parâmetros utilizados habitualmente para definição dos problemas são forças e deslocamentos, entretanto, para o dimensionamento é necessário comparar os esforços aplicados ao corpo com propriedades do material. Assim, utiliza-se a tensão, força por unidade de área, e a deformação, deslocamento por comprimento inicial.

Em um corpo sujeito a algumas forças, a tensão é geralmente distribuída segundo uma função continuamente variável dentro de uma porção contínua do material. Todo elemento infinitesimal do material pode ao mesmo tempo experimentar diferentes tensões. Portanto devemos olhar as tensões atuando em elementos extremamente pequenos dentro do corpo tipicamente modelados como um cubo. Considera-se que as tensões atuam sobre tais elementos de duas maneiras diferentes. As tensões normais (σ) atuam perpendicularmente a face analisada e as de cisalhamento (τ) atuam paralelamente as faces do cubo, em pares sobre faces opostas [9]. Um exemplo do modelo do cubo está apresentado na figura 5.

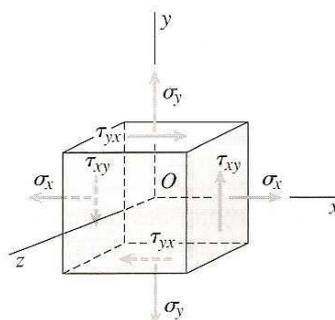


Figura 5: Elemento (cubo) sob tensões normais e de cisalhamento. Fonte [8].

3.2.2. Tensão normal

A tensão normal age na seção transversal e varia linearmente com a distância y da superfície neutra. O caso mais simples que pode ser aplicado a um elemento é a solitação normal de tensão ou compressão, desde que o carregamento seja aplicado no centróide da área do elemento e que as duas forças opostas sejam colineares ao longo do eixo x . A certa distância das extremidades onde as forças são aplicadas, a distribuição de tensões na seção transversal do elemento é essencialmente uniforme e pode ser calculada pela relação (6), onde P é a força aplicada e A é a área da seção transversal [8].

$$\sigma_x = \frac{P}{A} \quad (6)$$

É necessário analisar também a tensão normal devido à flexão, conforme apresentado na figura 6. A equação (7) mostra que as tensões são diretamente proporcionais ao momento fletor M e inversamente proporcionais ao momento de inércia I da seção transversal. Além disso, as tensões variam linearmente com a distância y . Se o momento fletor for positivo, as tensões de flexão serão de tração na parte em que y é negativo e de compressão na parte positiva de y , como apresentada na figura 6 [8].

$$\sigma_x = -\frac{M \cdot y}{I} \quad (7)$$

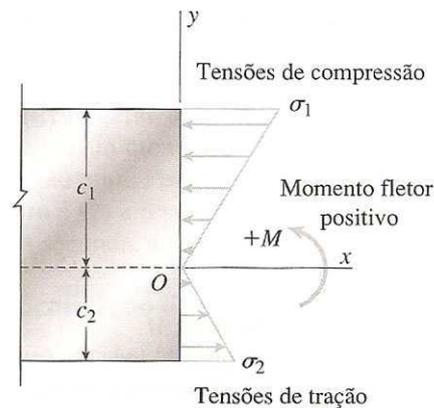


Figura 6: Tensão normal devido à flexão. Fonte [8].

3.2.3. Força de cisalhamento e momento fletor

Para determinar as tensões e deformações, deve-se primeiro encontrar as forças e os momentos internos que atuam nas seções transversais da viga. A resultante das tensões que agem na seção transversal pode ser reduzida a uma força de cisalhamento e um momento fletor, que podem ser calculados a partir das equações de equilíbrio.

O momento fletor e a força de cisalhamento podem ser chamados genericamente de carregamento, o qual pode ser localizado ou distribuído. Como é difícil de representá-lo com carregamentos que sejam válidos ao longo de todo o comprimento de viga, podem-se utilizar as funções de singularidade (impulso unitário), conforme apresentado na relação (8):

$$(x-a)^b = \begin{cases} 0 & \Rightarrow \text{para } : x \leq a \\ (x-a)^b & \Rightarrow \text{para } : x > a \end{cases} \quad (8)$$

Com a utilização da função de impulso unitário, é possível encontrar o momento fletor ao longo da viga para um carregamento localizado ou distribuído, com está apresentado na figura 7:

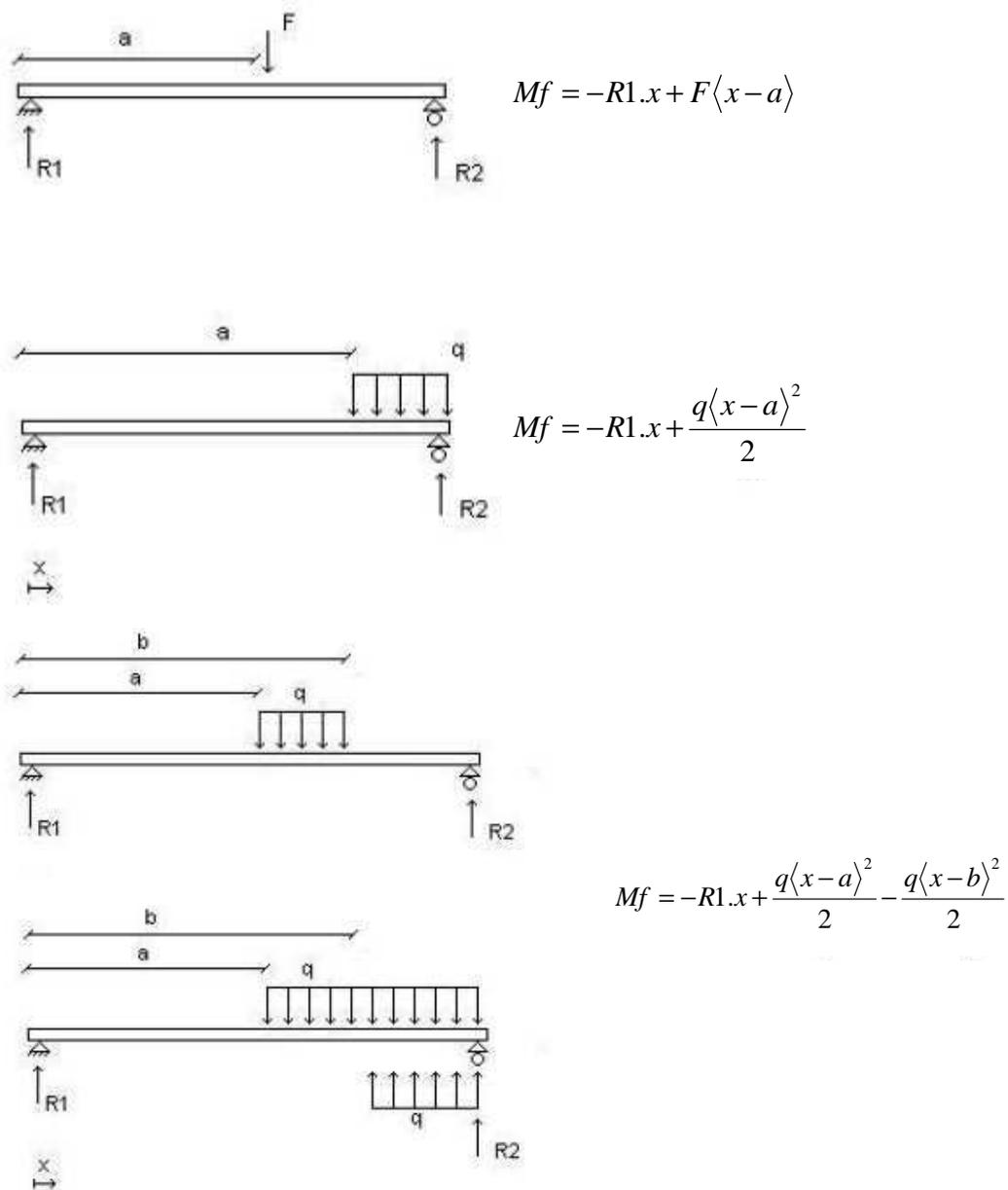


Figura 7: Momento fletor com carregamento equivalente. Adaptado [3].

Essas expressões apresentadas na figura 7 são utilizadas para calcular o momento fletor de cargas pontuais, carregamentos que começam em um determinado ponto e continuam até o fim da viga e para carregamentos que começam em um determinado ponto e não continuam até o fim da viga, respectivamente. Nesse último exemplo, o carregamento original foi substituído por um carregamento equivalente; esse raciocínio pode ser empregado para qualquer tipo de carregamento, por mais complexo que ele seja.

3.3. Concentração de tensão

As concentrações de tensões são efeitos localizados e os diversos fatores que levam às possíveis concentrações devem ser analisados. Variações abruptas no formato de barras, como furos, ranhuras, rasgos de chaveta, cantos vivos, roscas e chanfros são entidades que criam uma perturbação no padrão uniforme de tensão e, por isso, são chamadas de fatores concentradores de tensão. Com essas condições críticas, altas tensões localizadas serão criadas nas regiões que circundam essas discontinuidades e devem ser consideradas no dimensionamento, através dos fatores de concentração de tensão [8].

O valor da concentração de tensão em qualquer geometria particular é denotado por um fator genérico de concentração de tensão K_t , para tensões normais, ou K_{ts} , para tensões de cisalhamento [9]. A tensão máxima é calculada pelo produto da tensão nominal no ponto estudado pelo respectivo fator, conforme apresentado nas equações (9). Os fatores de concentração de tensão são obtidos empiricamente e encontram-se tabelados, em gráficos ou na forma de equações para diferentes carregamentos e geometrias, conforme apresentado em [9].

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= K_t \cdot \sigma_{nom} \\ \tau_{\max} &= K_{ts} \cdot \tau_{nom}\end{aligned}\tag{9}$$

3.4. Flambagem

A flambagem é uma forma de deformação de colunas e vigas, quando a mesma está carregada axialmente. Neste caso, além da falha por compressão, a coluna pode falhar devido à flambagem (que pode ocorrer repentinamente), caso a carga ultrapasse o a valor crítico.

Segundo Gere [8], a carga crítica por flambagem para uma coluna apoiada por pinos em ambas as extremidades no primeiro modo de flambagem é dada pela relação (10) e está exemplificada na figura 8. Este é um dos possíveis casos de flambagem e é o único que precisa ser analisado neste projeto, devido à configuração do problema.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 E I}{L^2} \quad (10)$$

Onde:

E é o módulo de elasticidade;

I é o momento de inércia;

L é o comprimento da coluna.

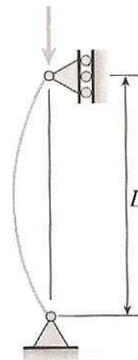


Figura 8: Representação do caso de flambagem estudado. Fonte [8].

3.5 Análise dos demais componentes da cadeira

3.5.1 Parafuso – elemento de fixação

O propósito de um parafuso é manter duas ou mais peças unidas. Esta união pode ser feita com o parafuso diretamente na peça ou com o auxílio de uma porca.

Muitas vezes, são utilizadas arruelas para evitar que os orifícios (por onde os parafusos passam) possuam rebarbas e arestas afiadas, que podem “morder” o filete do parafuso, resultando em concentrações de tensão.

Para o dimensionamento, é preciso verificar o cisalhamento no filete da porca, pois geralmente o material da porca é mais fraco do que do parafuso, através da equação (11):

$$\tau_f = \frac{Q}{b \cdot \pi \cdot d_i \cdot i} \quad (11)$$

Onde:

Q é a carga aplicada axialmente;

b é largura da base do filete;

d_i é o diâmetro interno da porca;

i é o número de filetes da porca, dada pela razão da altura da porca pelo passo ($i=h/p$).

Além disso, o parafuso pode sofrer carregamento perpendicularmente ao seu eixo, fazendo a função de um pino. Para tanto, precisa-se verificar se a tensão suportada, dada pela equação (12), é menor que a tensão admissível apresentada na equação (13).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Onde:

F é a força aplicada;

A é a área da seção perpendicular do parafuso.

$$\tau_{adm} = \frac{\sigma_{esc}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

3.5.2 Deformação da chapa do assento

Uma chapa de aço será utilizada como parte estrutural do assento (abaixo da parte acolchoada), tornando-o mais rígido. Para tanto, será preciso calcular a deformação da mesma, para saber o quanto ela irá deformar com a carga aplicada (massa do atleta) e com os movimentos realizados, por meio da teoria da elasticidade

linear [10]. A teoria da elasticidade linear envolve: relações de deslocamentos e deformações, equações constitutivas do material e equações diferenciais de equilíbrio.

As relações linearizadas entre deslocamentos (u) e deformações (ε e γ) são dadas pelas relações (14):

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u_x}{\partial x} & \gamma_{xy} &= \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial u_y}{\partial y} & \gamma_{xz} &= \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial u_z}{\partial z} & \gamma_{yz} &= \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \end{aligned} \quad (14)$$

Onde o campo de deslocamento é dado pelas relações (15):

$$u_x = u_x(x, y, z) \quad u_y = u_y(x, y, z) \quad u_z = u_z(x, y, z) \quad (15)$$

E o campo de deformações é dado pelas relações (16):

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon_x(x, y, z) & \varepsilon_y &= \varepsilon_y(x, y, z) & \varepsilon_z &= \varepsilon_z(x, y, z) \\ \gamma_{xy} &= \gamma_{xy}(x, y, z) & \gamma_{xz} &= \gamma_{xz}(x, y, z) & \gamma_{yz} &= \gamma_{yz}(x, y, z) \end{aligned} \quad (16)$$

O campo de tensões é dado pelas relações (17):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_x(x, y, z) & \sigma_y &= \sigma_y(x, y, z) & \sigma_z &= \sigma_z(x, y, z) \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}(x, y, z) & \tau_{xz} &= \tau_{xz}(x, y, z) & \tau_{yz} &= \tau_{yz}(x, y, z) \end{aligned} \quad (17)$$

Nas relações (18) são apresentadas as equações constitutivas, ou seja, as deformações em função das tensões para materiais com comportamento elástico linear, homogêneos e isotrópicos.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\
\varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] & \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{xz}}{G} \\
\varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\
G &= \frac{E}{2(1+\nu)}
\end{aligned} \tag{18}$$

De forma equivalente, têm-se as expressões (19):

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_x & \tau_{xy} &= G\gamma_{xy} \\
\sigma_y &= \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_y & \tau_{xz} &= G\gamma_{xz} \\
\sigma_z &= \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) + 2G\varepsilon_z & \tau_{yz} &= G\gamma_{yz} \\
\lambda &= \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}
\end{aligned} \tag{19}$$

Por fim, chega-se às equações diferenciais do equilíbrio, apresentadas nas expressões (20):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + b_x &= \mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} \\
\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + b_y &= \mu \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} \\
\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + b_z &= \mu \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}
\end{aligned} \tag{20}$$

Para que a solução do problema seja possível, ainda é preciso definir as condições de contorno e as condições iniciais, que estão relacionados aos deslocamentos, carregamentos e aos campos de tensões, deformações e deslocamentos.

4. MÉTODO

Neste tópico, serão apresentados os métodos utilizados para desenvolvimento do projeto em questão, conforme apresentados nos itens a seguir.

1. Os primeiros passos consistiram em analisar as cadeiras existentes no mercado e as cadeiras que foram desenvolvidas em trabalhos anteriores [4] e [7]. Foram observados os pontos positivos e negativos de cada exemplo existente, para que se conseguisse projetar uma cadeira que não possuía os problemas já encontrados e que incorporasse ainda todos os pontos positivos e as modificações sugeridas pelos atletas, para se obter um maior conforto e segurança durante a prática do esporte. Para tanto, foi necessário ler e avaliar os trabalhos e os protótipos anteriores. Também foi necessário realizar entrevistas com os atletas e técnicos que utilizam essas cadeiras em treinos e provas, para conhecer as necessidades, exigências e sugestões de melhorias.

2. A próxima etapa consistiu em tomar medidas do barco e do remo-ergômetro para realizar o projeto. Foi necessário gerar idéias que correspondessem às necessidades e exigências. A partir dessas idéias, foi possível realizar os cálculos (referente ao dimensionamento) e estudos de viabilidade (focando na fabricação e nos custos envolvidos). Para tanto foram feitos esboços e desenhos das idéias (tanto parciais, quanto do projeto final) através do programa de CAD, Solid Works, e os cálculos necessários para avaliar as estruturas e a resistência dos materiais envolvidos. Além disso, foi necessário selecionar os materiais utilizados na fabricação da cadeira e do assento, considerando alguns fatores como peso, resistência, resistência à corrosão, custo de material e facilidade de fabricação.

3. Para entender melhor o problema e facilitar a tomada de decisões, foi montado um pequeno “pré-protótipo” em madeira, conforme será apresentado no item 7. Esse “pré-protótipo” possui as principais dimensões do projeto e um sistema de articulação um pouco diferente do que foi utilizado no protótipo final.

4. O material escolhido para desenvolvimento do projeto foi o aço carbono ABNT 1020, pois é um material de baixo custo, alta resistência mecânica, fácil usinagem e solda. Outro ponto a ser destacado é que durante os cálculos do

dimensionamento, utilizou-se um fator de segurança para evitar problemas quanto à resistência, caso o material utilizado não seja exatamente o aço utilizado em projeto. Para evitar a corrosão, foi utilizado um inibidor de corrosão (chamado Ferrox) e, após isso, foi aplicada uma tinta para evitar a corrosão (Primer Colorgin).

5. Uma vez definido o projeto, em princípio, seriam feitos orçamentos para escolher uma empresa que fabrique o protótipo. No entanto, por nenhum patrocínio ter sido disponibilizado, o projeto foi fabricado no Laboratório de Máquinas Operatrizes do Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, no Laboratório de Fenômenos de Superfície do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica e na Brasmontan Comércio e Serviços Ltda. Durante a fabricação, surgiu a necessidade de alterar alguns componentes e peças do projeto inicial, para facilitar a fabricação do mesmo. Essas alterações foram incorporadas aos desenhos finais.

6. Após a construção do protótipo, foram feitos testes com os equipamentos (barco e remo-ergômetro) para verificar os encaixes das diversas peças, tanto do protótipo, quanto dos equipamentos. Além disso, os atletas puderam avaliar as regulagens e o conforto da cadeira.

7. A próxima etapa consistiu em incorporar ao projeto algumas das alterações solicitadas pelos atletas após a realização dos testes preliminares, as quais também já estão contempladas nos desenhos de conjunto e de fabricação apresentados neste trabalho.

8. Por fim, seriam feitos orçamentos e a posterior fabricação de um assento e encosto acolchoado por um tapeceiro para utilização na cadeira. Como não foi disponibilizado nenhum patrocínio, esta etapa foi suprimida. No entanto este trabalho apresenta uma sugestão de projeto do assento e do encosto.

5. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Após a realização de pesquisas mais profundas, visitas à Raia Olímpica da USP e entrevistas com alguns treinadores e atletas pára – olímpicos, pôde-se definir com mais clareza quais as necessidades que este projeto deveria suprir, as quais são descritas a seguir.

É de fundamental importância que a cadeira para remo adaptável desenvolvida nesse projeto seja utilizada tanto no barco (para treinos e competições), como no remo ergômetro para treinos fora da água. Isso exige que a cadeira possua encaixes especiais para estas duas finalidades. Além disso, foi definido que a cadeira possa ser utilizada por atletas da classe **LA** e **A**. Como já foi apresentado nos itens anteriores, os atletas da classe **A** são os que exigem maiores adaptações, o que garante que a mesma cadeira também possa ser utilizada por atletas da classe **LA** também.

Outro ponto de destaque foi o levantamento das necessidades e exigências quanto à funcionalidade para que a cadeira fosse projetada, destacando-se a grande importância das opiniões dos atletas e dos treinadores, já que eles são os usuários. Nessas entrevistas, decidiu-se que o projeto deveria conter:

- regulagens de altura e de inclinação do encosto, as quais sejam fáceis de serem alteradas com pinos auto-travantes (parafuso com cupilha) ou parafusos com porca do tipo borboleta;
- assento confortável, acolchoado e anatômico (para evitar a formação de escaras). O assento também deve suportar o peso e os esforços do atleta, além de ser removível para que cada atleta possua o seu (para ser mais higiênico, já que há contato direto com o suor), além de propiciar a retirada para secagem, caso o assento seja molhado;
- assento com regulagem de distância longitudinal e transversal;
- estrutura que suporte os esforços aplicados pelo atleta durante as remadas, principalmente a estrutura do encosto, para que as regulagens de altura e inclinação não sejam alteradas;
- cinta de segurança, exigida na categoria **A**, pode ser removível para que cada atleta possua a sua (para ser mais higiênico, já que há contato direto com o suor);

- material leve e resistente à corrosão.

Por fim, todas essas características citadas anteriormente devem assegurar conforto, segurança e bom desempenho aos atletas.

6. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES, PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA CADEIRA

Nessa seção são apresentados os resultados e as de soluções para o desenvolvimento do projeto. Todas as soluções adotadas foram consideradas no dimensionamento das partes da cadeira. Algumas pequenas mudanças foram necessárias, principalmente quando se refere à facilidade de fabricação de alguns componentes e ao emprego das peças disponíveis no mercado. É importante destacar, que todo o projeto e o dimensionamento desenvolvidos foram feitos considerando-se a disponibilidade de matérias-primas e produtos disponíveis no mercado. Assim, a alteração desses componentes não deve ser necessária futuramente, ocorrendo apenas em casos isolados. Os desenhos de fabricação e conjunto apresentados neste trabalho (que são as versões finais) foram utilizados para a fabricação do protótipo, representando a realidade do projeto. Eles estão apresentados no Anexo A.

6.1 Estrutura da cadeira

Após análise de cadeiras de rodas (principalmente para utilização esportiva) disponíveis no mercado [11] e [12] e das propostas de solução dos trabalhos de formatura [4] e [7], decidiu-se por projetar uma cadeira com estrutura tubular. Alguns exemplos de cadeiras esportivas disponíveis no mercado estão apresentados na figura 9. Ressalta-se que todas essas cadeiras são feitas em estrutura tubular, para que o peso total não seja elevado.



Figura 9: Cadeiras de rodas esportivas para prática de: a) basquete; b) basquete; c) corrida; d) tênis.
Fonte [11] e [12].

A principal premissa adotada no projeto é a massa do atleta, avaliada em 100 kg. Outro ponto importante, para o início do dimensionamento, principalmente para o encosto e para a verificação da carga nos parafusos, foi considerar também a força desenvolvida pelo atleta a cada remada. Esta força é diretamente recebida pelo encosto da cadeira e, conseqüentemente, transmitida para as outras partes da cadeira. Medir essa força não é uma tarefa simples, pois exige a utilização de sensores. Então essa força foi estimada, utilizando-se o seguinte raciocínio: mediu-se o curso do braço a cada remada (ou seja, a distância entre as posições em que os braços estão esticados e flexionados) e o tempo necessário para que esse movimento seja realizado. Foram feitas várias medições, chegando-se aos seguintes valores: distância de 0,80 m e intervalo de tempo de 0,52 s. Assim, foi possível calcular a aceleração de $2,96 \text{ m/s}^2$, através da relação (21). Depois, foi feito o produto da massa do atleta, 100

kg, pela aceleração, chegando-se ao valor de 296 N, que possui ordem de grandeza compatível à força desenvolvida por uma pessoa. Vale destacar que a massa acelerada corresponderia apenas à parte acima da cintura, mas utilizou-se toda a massa do atleta para ter-se um dimensionamento a favor da segurança. Além disso, para o dimensionamento foi utilizado um fator de segurança que garantirá a aplicação de uma força maior sem que a estrutura falhe (no caso de a força ter sido sub-estimada por essa simplificação adotada).

$$a = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (21)$$

Para aumentar a estabilidade do atleta, decidiu-se por utilizar uma chapa de aço no assento unindo os dois lados da estrutura tubular do assento. O assento possui ainda um revestimento acolchoado, o que trará conforto ao pára-atleta, sendo fixado à chapa de aço por meio de velcros. Um ponto importante de se utilizar a chapa para unir as duas estruturas é que o carregamento torna-se simétrico, ou seja, cada lado da cadeira receberá metade dos esforços. A figura 10 e a tabela 1 mostram um esquema das dimensões e dos esforços suportados por cada lado da estrutura tubular da cadeira.

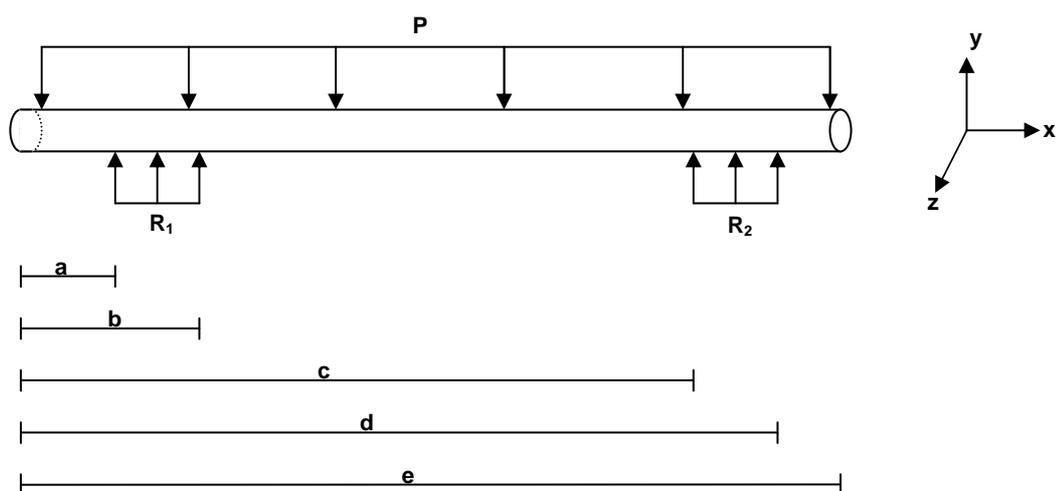


Figura 10: Esquema das dimensões e dos esforços aplicados na cadeira. Legenda: P: peso do atleta; R1 e R2 são as reações da estrutura inferior da cadeira; a, b, c, d, e: comprimentos da estrutura tubular utilizados no dimensionamento.

A tabela 1 apresenta os valores de cada uma das variáveis da figura 10.

Tabela 1: Valores das incógnitas apresentadas na figura 10. Legenda: P: peso do atleta; R1 e R2 são as reações da estrutura inferior da cadeira; a, b, c, d, e: comprimentos da estrutura tubular utilizados no dimensionamento.

Forças (N/m)			Dimensões (m)				
P	R1	R2	a	b	c	d	e
1.167	5.277	6.973	0,010	0,050	0,323	0,363	0,420

Seguindo o dimensionamento, calculou-se a tensão aplicada nos tubos da estrutura tubular, que corresponde à soma da tensão de cisalhamento e da tensão de tração. Para a tensão de tração, utilizou-se a relação (6), onde a força de tração P é a metade da força aplicada pelo atleta em cada remada (já que a estrutura é simétrica) e a área A é a área da secção transversal dos tubos. Já a tensão de cisalhamento é obtida pela relação (7), onde o momento fletor foi calculado através das relações apresentadas na figura 9, e I é o momento de inércia do tubo dado por $\frac{\pi(d_e^4 + d_i^4)}{64}$. Além disso, como existem alguns furos nos tubos, é preciso levar em consideração os fatores intensificadores de tensão, utilizando-se a relação (9); o fator concentrador de tensão (K_t) é da ordem de 1,9. Assim, no ponto mais crítico, ou seja, no ponto onde o momento fletor é máximo e onde há fatores de concentração de tensão (furos) a tensão aplicada é de 62,9 MPa.

Os tubos utilizados no dimensionamento apresentado são de aço ABNT 1020 de diâmetro externo de 22,4 mm e de 1,2 mm de espessura de parede. Apesar de os tubos de aço possuírem pontos negativos como peso elevado e resistência à corrosão não muito boa, decidiu-se pelo seu emprego, pois os custos de fabricação são diminuídos, já que a realização de soldas nesse tipo de material não é muito cara e por se tratar de um material de boa usinabilidade. O problema da corrosão pode ser minimizado com o emprego de uma pintura resistente à corrosão, além da cadeira não ficar em contato direto com a água. O peso é facilmente contornado pelo fato da estrutura poder ser menos robusta, já que esse aço possui boas propriedades mecânicas. O assento tem as medidas de 375 mm de largura e 420 mm de comprimento.

As estruturas tubulares do assento são conectadas umas às outras por chapas de aço ABNT 1020 dobradas e soldadas, cuja espessura é de 1,5mm. Essas chapas de aço têm a função de garantir os deslocamentos e ajustes transversais e longitudinais

da cadeira, juntamente com o trilho em U. É importante notar, que o espaço entre essas chapas e a estrutura tubular do assento não pode ser grande, pois isso faz com que o centro de gravidade do barco suba, causando maior instabilidade durante a prática do esporte. No entanto, é preciso haver um espaço pequeno que garanta o acesso das mãos para que a regulagem transversal e longitudinal possa ser garantida, através dos parafusos e porcas borboletas.

A figura 11 apresenta um desenho de como é a estrutura final do assento.

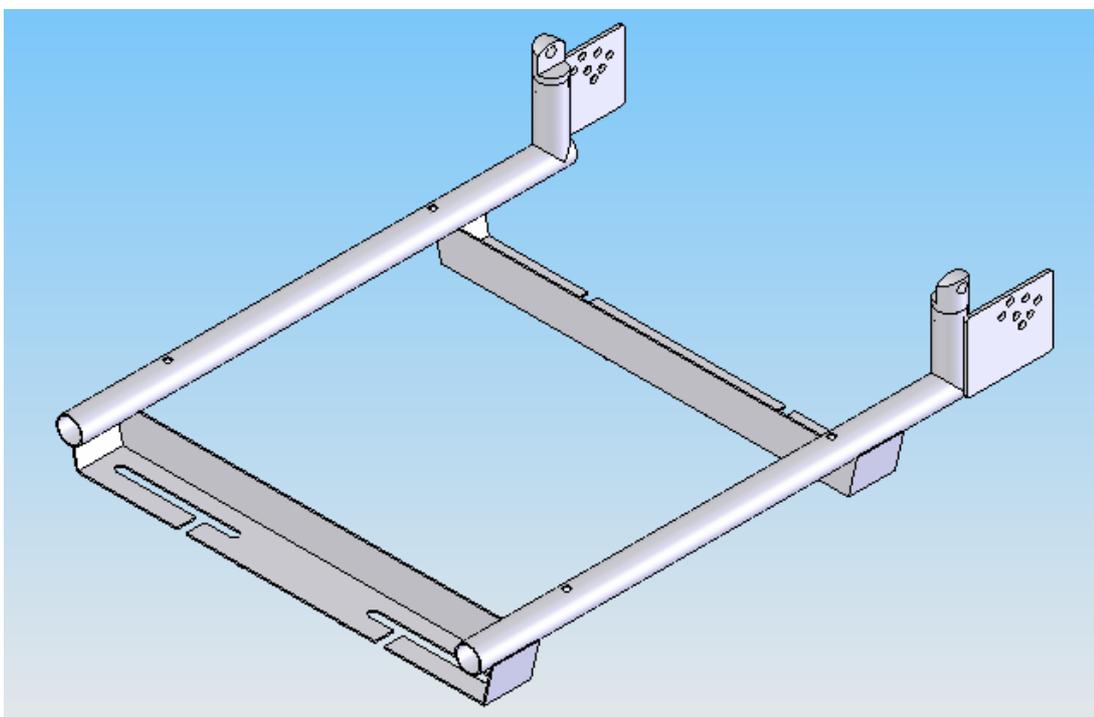


Figura 11: Desenho da estrutura do assento.

6.2 Trilhos do assento

Para fixar a cadeira ao barco, foi necessário fabricar um dispositivo entre a cadeira e o trilho do barco. Um problema encontrado, ao se analisar alguns barcos, é que a distância entre trilhos não é padrão, o que exige algum tipo de regulagem. Essas regulagens precisam ser feitas no sentido longitudinal e transversal do barco. A regulagem longitudinal vai garantir o conforto do atleta, pois ele vai poder regular a distância da cadeira até o local onde ficam os remos, garantindo, assim, maior conforto para as pernas durante a prática do esporte. Já a regulagem transversal é

necessária para garantir que a mesma cadeira possa ser utilizada em barcos diferentes, já que a distância dos trilhos dos barcos pode variar. A tabela 2 mostra algumas possíveis distâncias entre os trilhos dos barcos [4].

Tabela 2: Possíveis distâncias entre os trilhos. Fonte [4].

Distância entre os trilhos (mm)
165
230
280

Para a fabricação desse trilho com regulagem longitudinal, foi utilizada como base uma chapa de aço ABNT 1020 de 1,5mm de espessura, a qual foi dobrada três vezes para fazer um perfil em U. Esse perfil em U passou por algumas modificações, para garantir a regulagem de distância e a fixação do mesmo no trilho do barco.

A figura 12 apresenta as regulagens transversais e longitudinais da cadeira junto ao trilho (setas amarelas), feitas através de parafuso e porca borboleta. Para facilitar esse ajuste, foi soldada uma pequena chapa de aço ao parafuso, fazendo com que ele fique travado junto ao trilho em U, permitindo que apenas a porca borboleta possa girar. O parafuso utilizado foi M8x25 sextavado. A figura 12 mostra também a fixação do perfil em U junto ao trilho do barco feito através de parafuso e porca, a qual é soldada ao perfil, garantindo um curso maior com rosca para o parafuso (M6x30 sextavado).

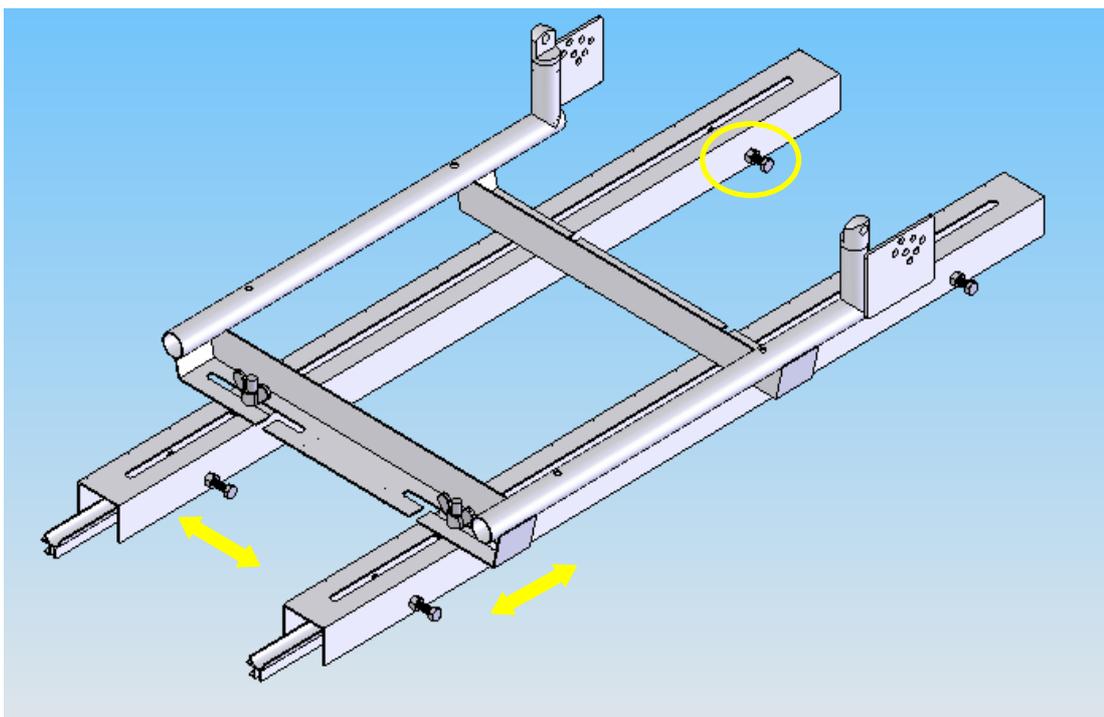


Figura 12: Regulagens transversal e longitudinal da cadeira. Fixação do perfil em U junto ao trilho do barco.

Foi selecionado um trilho e foi verificado se ele suporta os esforços impostos pelos atletas. Para tanto, pode-se considerar o trilho como uma composição de três barras, conforme apresentado na figura 13, sendo uma horizontal e duas verticais, sujeita às solicitações como apresentado na figura 14.

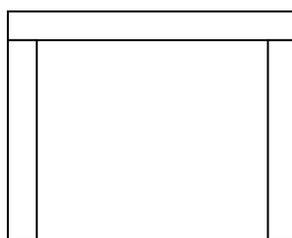


Figura 13: Secção transversal do perfil em U.

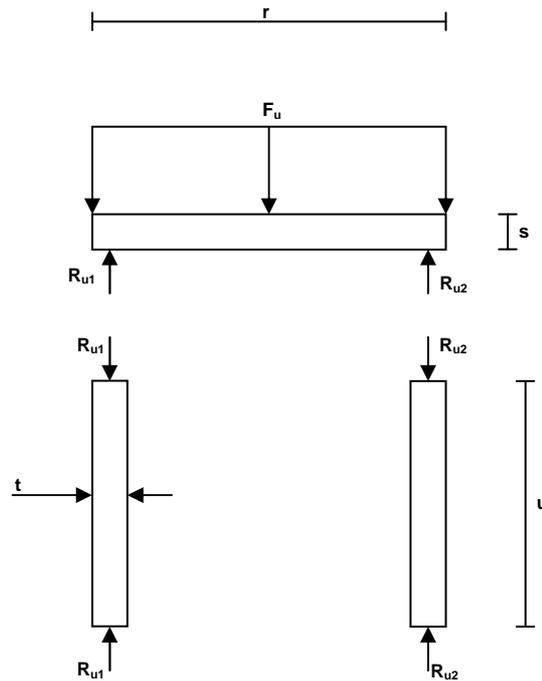


Figura 14: Perfil em U separado em barras verticais e horizontal com as respectivas forças aplicadas. Legenda: F_u : carga aplica pela cadeira no trilho; R_{u1} , R_{u2} : reações aplicadas nas barras verticais; t , s : espessura das barras; r , u : comprimento das barras.

A chapa dobrada selecionada para ser utilizada como base do trilho foi fabricada em aço ABNT 1020, gerando um perfil em U com as seguintes dimensões em milímetros, como apresentado na tabela 3. O comprimento do trilho é de 800mm.

Tabela 3: Dimensões do perfil em U, seguindo figura 14. Legenda: t , s : espessura das barras; r , u : comprimento das barras.

Dimensões do perfil (mm)			
r	s	t	u
45	1,5	1,5	35

As solicitações são provenientes da massa do atleta em cada um dos dois apoios da cadeira que possuem contato com o trilho. Para o dimensionamento, foi utilizado o trecho que recebe a maior carga R1(b-a) (segundo nomenclatura da figura 10), para garantir maior segurança. Assim, na figura 14, $F_u \cdot r$ assume o valor

de R1(b-a) e, por simetria,

$$R_{u1} = R_{u2} = \frac{F_u \cdot r}{2} .$$

Para a barra horizontal, foi calculada a tensão como apresentado na relação (22), como sendo a soma da tensão de cisalhamento (considerando o ponto em que o momento fletor é máximo) e a tensão de tração (proveniente da força imposta pelo atleta a cada remada). A relação (22) é a soma das equações (6) e (7).

$$\sigma = \frac{M_{f \max} \cdot s/2}{I} + \frac{F_{remada}/2}{A} \quad (22)$$

Onde:

I é o momento de inércia, $I = \frac{r \cdot s^3}{12}$;

A é a área da secção transversal da barra, $A = r \cdot s$;

s é a espessura da barra;

r é o comprimento da barra;

$M_{f \max}$ é o momento fletor máximo;

F_{remada} é a força aplicada a cada remada.

Assim, a tensão suportada pela barra horizontal do trilho em U é de 72,2 MPa, gerando um coeficiente de segurança próximo de 2,9.

Para as barras verticais do trilho em U, foi feita a verificação quanto à compressão e quanto à flambagem, seguindo os conceitos apresentados nas relações (6) e (10), respectivamente. Assim, a tensão de compressão imposta pela força peso do atleta é de 4,02 MPa, sendo muito menor do que a carga que a peça pode suportar. A carga crítica de flambagem é de $8,9 \cdot 10^6$ N, que é muito maior do que a carga aplicada.

Desse modo, verifica-se que o trilho em U suporta todos os esforços satisfatoriamente, com um coeficiente de segurança de 2,9 no local mais solicitado.

6.3 Estrutura do encosto

O encosto pode ser dividido em duas estruturas secundárias: uma com menor diâmetro (parte superior) e outra com maior diâmetro (parte inferior). Essa divisão foi feita para que o encosto tivesse a regulagem de altura exigida pelos atletas e técnicos. Desse modo, a estrutura de menor diâmetro pode deslizar por dentro da estrutura de maior diâmetro, sendo esta última ligada diretamente ao assento através de uma articulação, o que garante a regulagem de inclinação, também exigida pelos atletas.

A estrutura do encosto inferior (de maior diâmetro) também foi projetada em estrutura tubular, seguindo as propostas do assento (aço ABNT 1020, com diâmetro externo de 22,4 mm e espessura de parede de 1,2 mm), com altura de 270 mm até a estrutura do assento. Para a condição de altura mínima do encosto da cadeira, apenas esta estrutura é utilizada. Na condição mais crítica, a tensão suportada é de 65,3 MPa. Essa tensão calculada representa a situação mais crítica, pois toda a carga gerada pelo atleta em cada remada é aplicada na extremidade superior, além de se considerar o fator de concentração de tensão devido a presença de furos, chegando-se a um fator de segurança de 3.

A estrutura do encosto superior (de menor diâmetro) também foi projetada em estrutura tubular: aço ABNT 1020, com diâmetro externo de 19,05 mm e espessura de parede de 1,2 mm. Para o dimensionamento, também se considerou a condição mais crítica, na qual toda a carga gerada pelo atleta em cada remada é aplicada na extremidade superior e há a presença de furos, o que exige a consideração do fator de concentração de tensão nos cálculos. Desse modo, a tensão suportada é de 64 MPa, com um fator de segurança de 3,2.

Para a regulagem de altura, foram definidas seis posições após análise feita em função das sugestões dos próprios atletas, o que garante o conforto dos mesmos durante a prática do esporte. Essas regulagens garantem alturas do encosto de 270 mm (apenas com a estrutura inferior), 430, 460, 560, 585 mm (estas quatro últimas medidas através do uso das duas estruturas, inferior e superior), além da possibilidade de não utilizar encosto algum. Essas quatro regulagens maiores exigem a estrutura do encosto superior (estrutura de tubos de diâmetros menores: 19,05 mm), os quais podem deslizar dentro dos tubos da estrutura da base do encosto. A fixação

dessas partes é feita com parafusos sextavados (M6x30) e porcas borboletas ou com parafusos e cupilhas. A menor regulagem é atingida quando não se utiliza o encosto, conforme apresentado na figura 15. A regulagem que garante encosto com 270 mm de altura, é atingida apenas pelo uso da estrutura do encosto inferior (estrutura tubular de maior diâmetro externo), conforme apresentado na figura 16. A figura 17 apresenta a cadeira na configuração alta (de 560 mm), composta pela estrutura de menor diâmetro externo deslizando dentro da estrutura de maior diâmetro, sendo fixada à outra estrutura através de parafusos e porcas borboletas.

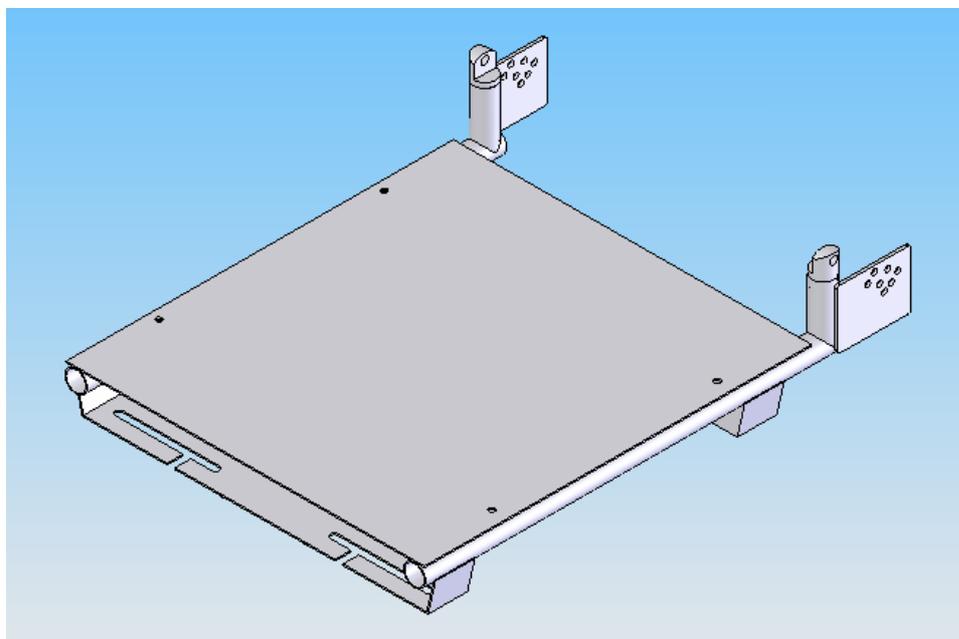


Figura 15: Cadeira na regulagem de altura mais baixa (sem encosto).

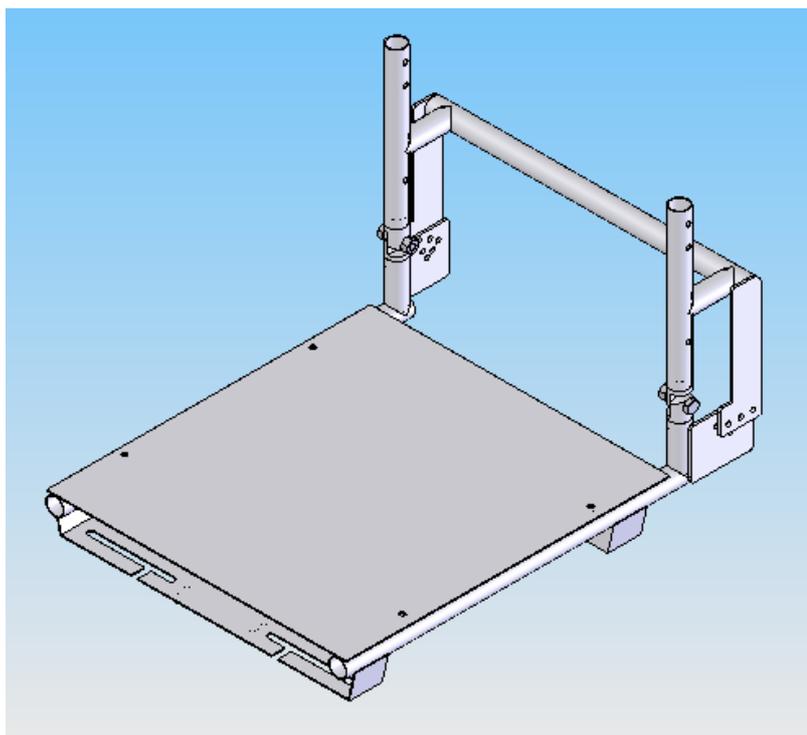


Figura 16: Cadeira com encosto na regulagem de 270 mm (apenas uma estrutura).

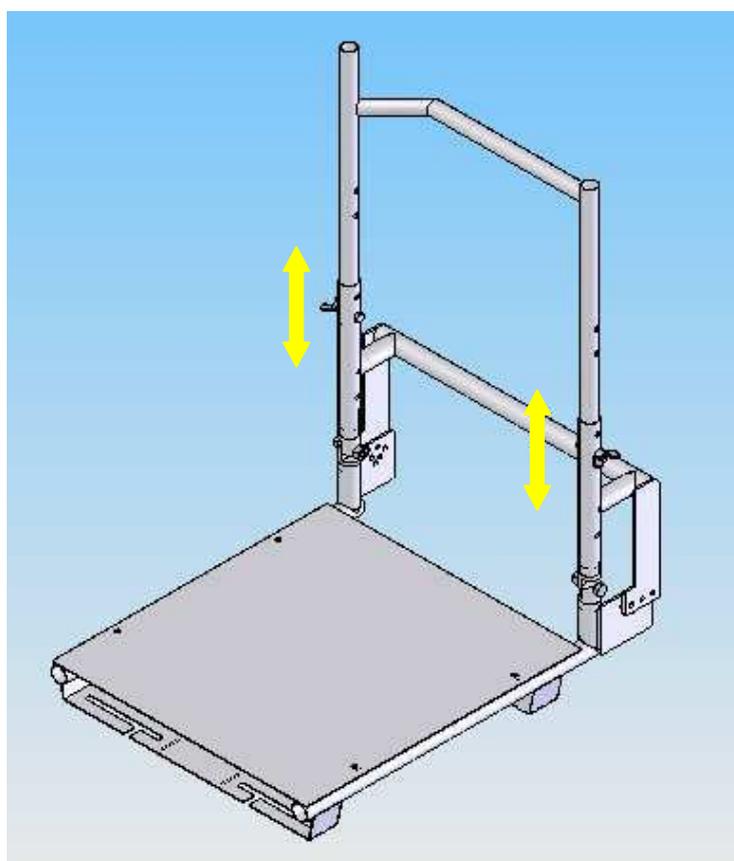


Figura 17: Cadeira com encosto na regulagem de 560mm (duas estruturas).

A regulagem de inclinação é garantida através de uma articulação que une a estrutura do assento à estrutura do encosto inferior (de maior diâmetro), feita com parafusos (M8x30) e porcas do tipo parlock, garantido o movimento rotacional das duas estruturas sem que a porca escape. A escolha da regulagem de inclinação desejada é feita por meio duas chapas de aço ABNT 1020 de 3 mm de espessura, sendo uma soldada à estrutura do assento e outra soldada à estrutura do encosto inferior. Essas duas chapas possuem furações. Por meio de parafusos (M6x25) e de porcas borboletas ou de cupilhas, a regulagem é escolhida quando o parafuso é passado pelo furo e fixado à porca. A figura 18 mostra a cadeira com o mecanismo e a figura 19 mostra o detalhe do mecanismo descrito (articulação e chapa com furos), todas as duas utilizando fixação de parafusos e porcas.

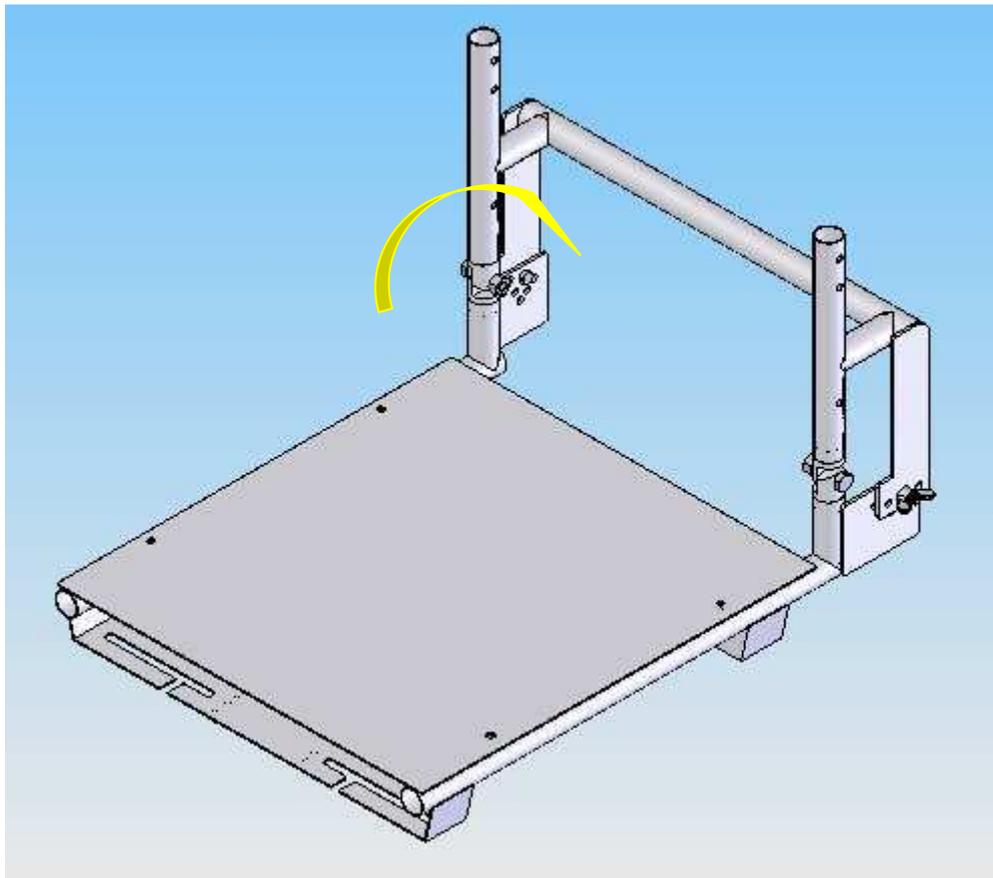


Figura 18: Cadeira com regulagem de inclinação.

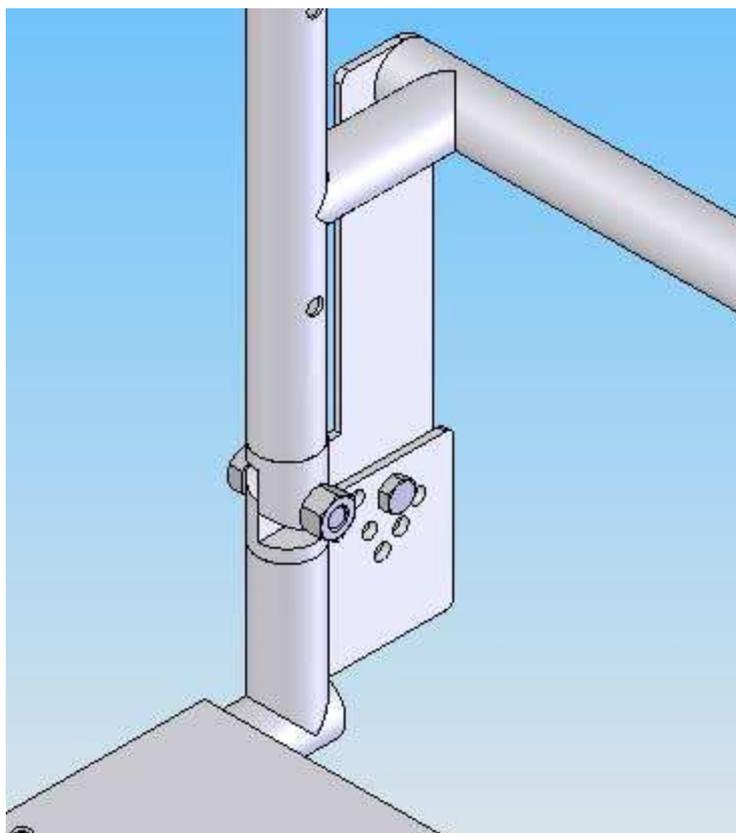


Figura 19: Detalhe da regulagem de inclinação (articulação e chapa com furos).

Vale destacar que esse mecanismo de fixação de regulagem de inclinação feito com chapas e com a articulação, deixa a região do assento totalmente livre para que os atletas possam entrar no barco com mais mobilidade, sem que colidam o corpo com as barras laterais comumente empregadas em cadeiras utilizadas na prática do remo adaptável. Isto fica claro ao se comparar a cadeira da figura 18 (projetada neste trabalho) com a cadeira da figura 20, disponível comercialmente, a qual possui barra lateral comum para regulagem de inclinação. Além disso, são garantidas no máximo sete regulagens desde -5° até 26° , ou seja, existem sete possibilidades de escolha de inclinação percorrendo um arco de 31° .



Figura 20: Cadeira com barra lateral comum (regulagem de inclinação).

6.4 Chapa de aço do assento

Para aumentar a resistência estrutural do assento e para evitar grandes deformações do assento acolchoado, será utilizada uma chapa de aço sobre a estrutura tubular do assento, parafusada nesta estrutura. Para tanto, é importante avaliar a deformação que a chapa sofrerá com a aplicação do peso e dos esforços dos atletas, provenientes das remadas. Na figura 21 estão representados os esforços aplicados na chapa, provenientes do peso do atleta.

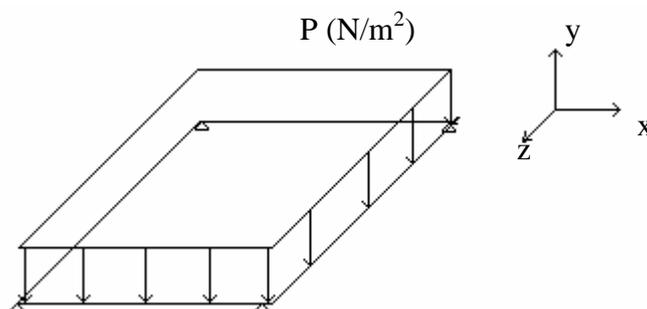


Figura 21: Esquema dos esforços aplicados na chapa. Legenda: sistema de referência x,y,z e P indica a tensão.

Como apresentado na figura 21, a chapa é submetida a uma tensão normal no eixo y, devido ao peso do atleta, e a tensões cisalhantes aplicadas no eixo x, proveniente das remadas. Assim, tem-se $\sigma_y = \frac{P}{A}$, que resultará em uma redução da espessura da chapa no eixo y, devido ao peso, como apresentado na figura 22.

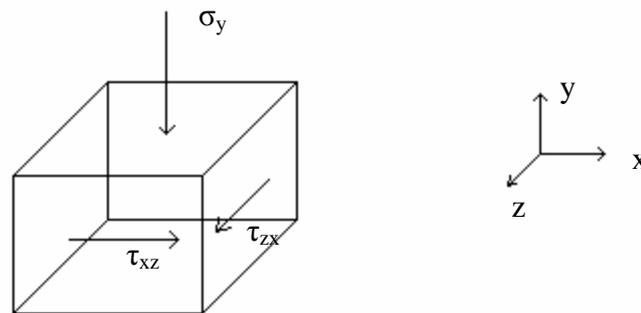


Figura 22: Representação das tensões em um bloco infinitesimal da chapa de aço do assento.

Legenda: sistema de referência x,y,z; σ_y : tensão normal; τ_{xz}, τ_{zx} : tensões cisalhantes.

A chapa utilizada é de aço ABNT 1020, com 1,5mm de espessura e 375 mm de largura por 400 mm de comprimento. Portanto, tem-se $\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$, que resulta em uma deformação de $3,2 \cdot 10^{-8}$ m, ou seja, a deformação da chapa é desprezível.

Caso haja a necessidade de diminuir a massa da cadeira, existe a possibilidade de trocar a chapa de aço por uma chapa de madeira (do tipo compensado) com espessura de 10 mm, seguindo as mesmas dimensões (375 x 400 mm).

6.5 Revestimento anti-ferrugem

O inconveniente de se utilizar materiais como o aço carbono é a grande possibilidade de, em pouco tempo, o material começar a oxidar. Como foi citado anteriormente, isso acaba tendo uma importância secundária, pois se deseja principalmente diminuir o preço de fabricação da cadeira, uma vez que o aço ABNT 1020 tem baixo preço, possui alta usinabilidade e é fácil de soldar. Para contornar

esse problema, existem no mercado algumas tintas que inibem o processo de oxidação dos metais.

a) Fundo anti-corrosivo epóxi: é um fundo catalizável de alta resistência, protegendo superfícies de aço e de ferro da oxidação. Precisa-se aplicar outra tinta em cima para dar o acabamento.

b) Zarcão universal: é um fundo anti-corrosivo universal para superfícies ferrosas, dando maior proteção. Também é preciso aplicar outra tinta em cima para dar o acabamento.

c) Anti-Ox: é outro produto anti-corrosivo, que atua sobre a ferrugem, neutralizando a mesma e transformando-a em fosfato de ferro inerte, protegendo o ferro evitando novas oxidações. Depois da aplicação do mesmo, sugere-se a aplicação de zarcão e posteriormente a pintura de acabamento.

d) Esmalte anti-ferrugem (Primer Colorgin): tinta em spray com ação tripla: anti-ferrugem, fundo e acabamento. Não necessita da aplicação de outros produtos.

Optou-se por adotar a tinta proposta na alternativa d), pois trata-se de uma proposta completa e de fácil utilização. Além disso, as outras tintas propostas parecerem semelhantes entre si.

6.6 Assento e encosto acolchoado

O assento e o encosto serão recobertos por uma espécie de almofada, feita de espuma e couro marítimo, garantindo impermeabilidade ao conjunto. Essas almofadas do assento e do encosto devem melhorar o conforto dos atletas, ao utilizar a cadeira. Outro ponto importante é que elas são removíveis, para o caso de uma substituição ou para cada atleta possuir o seu próprio conjunto de almofadas. A fixação será feita por meio de tiras de velcro.

A almofada do assento terá tiras de velcro coladas em sua parte inferior para poder “grudar” nas tiras coladas na chapa do assento. São duas tiras de velcro coladas na chapa do assento, ambas com 50 mm de largura e 300 mm de comprimento. A espuma deve possuir 40 mm de espessura tendo as dimensões de

375 mm de largura e 400 mm de comprimento (as mesmas dimensões da chapa do assento). A figura 23 apresenta um esquema do assento acolchoado em corte, mostrando as tiras de velcro em vermelho e o assento em azul marinho (deslocado para cima).

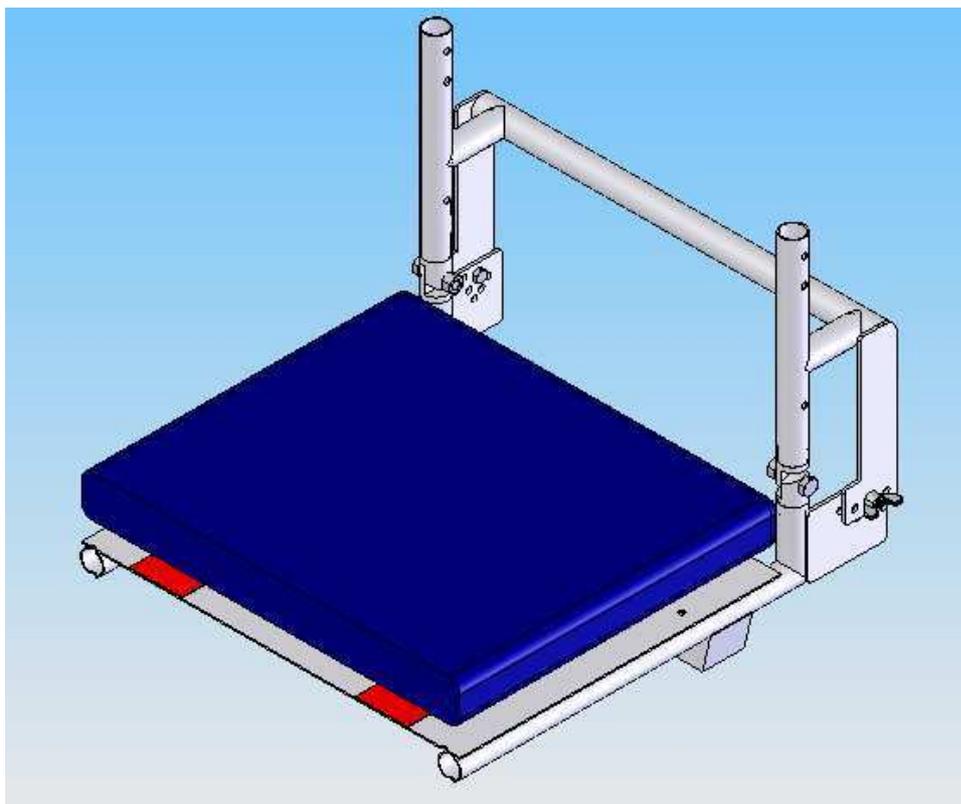


Figura 23: Assento acolchoado fixo ao assento por duas tiras de velcro.

Como o encosto não possui uma chapa entre as estruturas tubulares, é preciso fazer uma estrutura secundária (feita de tiras de tecido, semelhante aos utilizados em mochilas para fazer as alças), na qual as tiras de velcro são coladas. Esta estrutura, semelhante a uma cadeira de praia, está apresentada na figura 24 em marrom claro e as tiras de velcro estão em vermelho. Cada pedaço dessa estrutura possui 50 mm de altura, o que evita que o encosto acolchoado dobre por cima dela, não provocando desconforto ao atleta, nem a formação de escaras. Além disso, as fitas podem deslizar ao longo das estruturas tubulares, garantindo ainda a regulagem de altura do encosto.

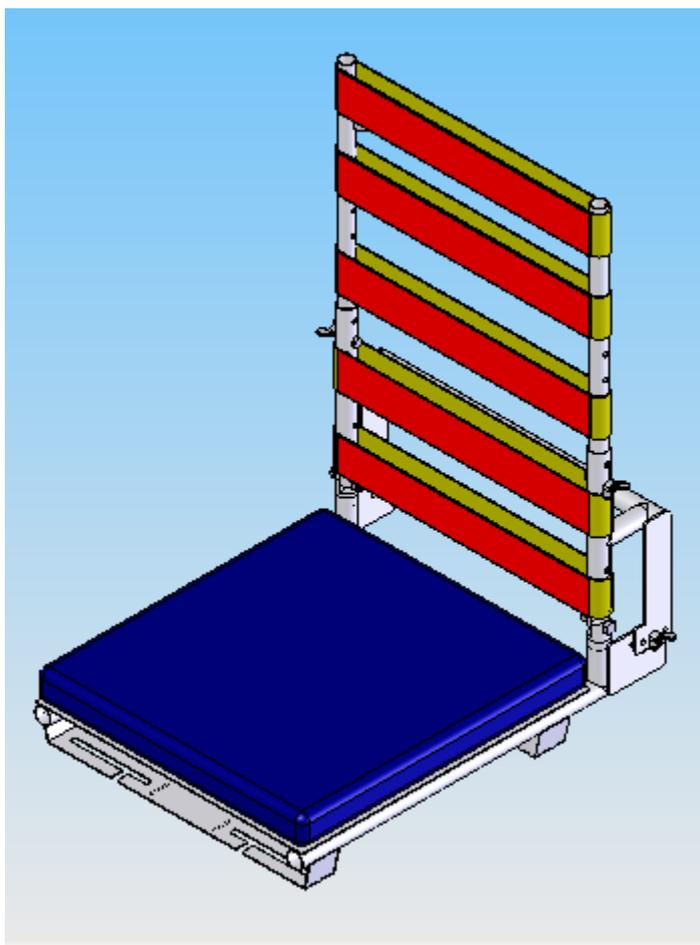


Figura 24: Estrutura do encosto (marrom claro) com velcro (vermelho).

O encosto acolchoado é feito com espuma de 40 mm de espessura e largura de 342 mm. Além disso, foi necessário repartir o encosto em três módulos: um para a estrutura tubular inferior (de maior diâmetro), que possui comprimento de 190 mm; e outros dois para a estrutura tubular superior (de menor diâmetro), com comprimentos de 70 mm e de 190 mm. O menor módulo (de 70 mm), junto com a tira correspondente a sua estrutura, precisa ser retirado quando as regulagens de altura intermediárias forem utilizadas, permitindo todo o funcionamento do sistema. A figura 25 mostra os três módulos do encosto acolchoado (em azul marinho) fixados à estrutura da cadeira.

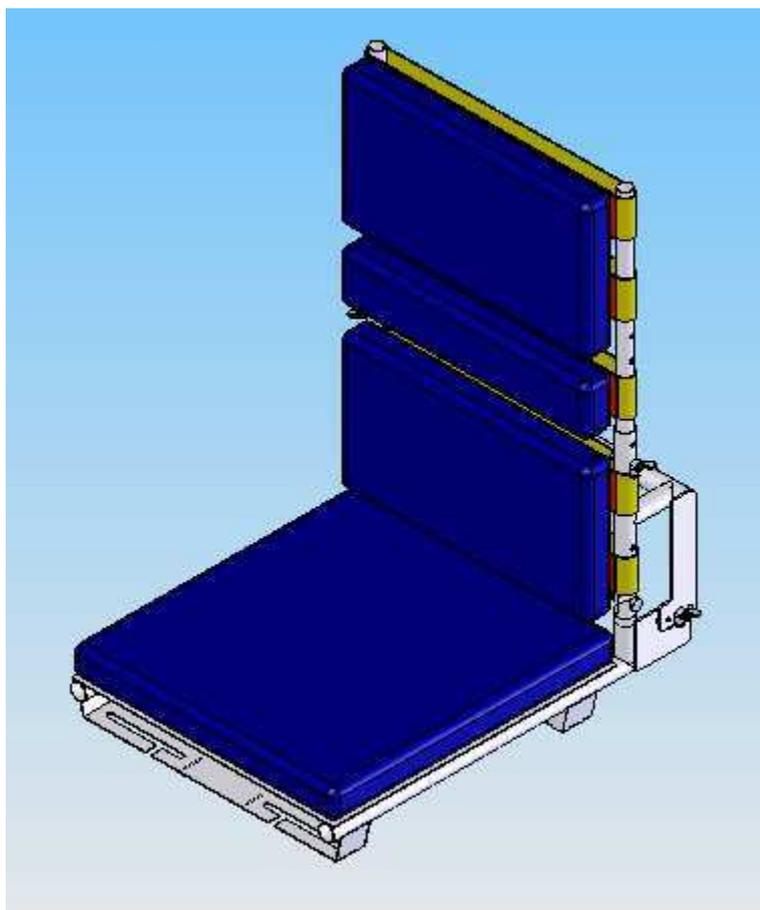


Figura 25: Encosto acolchoado (3 módulos em azul marinho), fixados à estrutura da cadeira.

Vale ressaltar que todo encosto e assento acolchoado precisam ser feitos em um tapeceiro.

6.7 Cinta de fixação

Para a prática do remo adaptável na categoria **A** (apenas braços), é preciso que o atleta utilize uma cinta de fixação que o prenda à cadeira, dando maior sustentação e estabilidade. Por isso, uma das fitas que faz parte da estrutura anteriormente descrita de fixação dos módulos do encosto acolchoado possui uma alteração para que possa ser colocada uma cinta de segurança. Essa cinta também precisa ser projetada para que o próprio atleta possa removê-la em caso de acidentes.

A cinta de segurança será feita com o mesmo material utilizado para fazer a estrutura do encosto (para dar sustentação), sendo recoberto por velcro. A estrutura é

fixada ao encosto da cadeira através de um passante (verde claro), conforme detalhe mostrado na figura 26. Já o conjunto final é mostrado na figura 27.

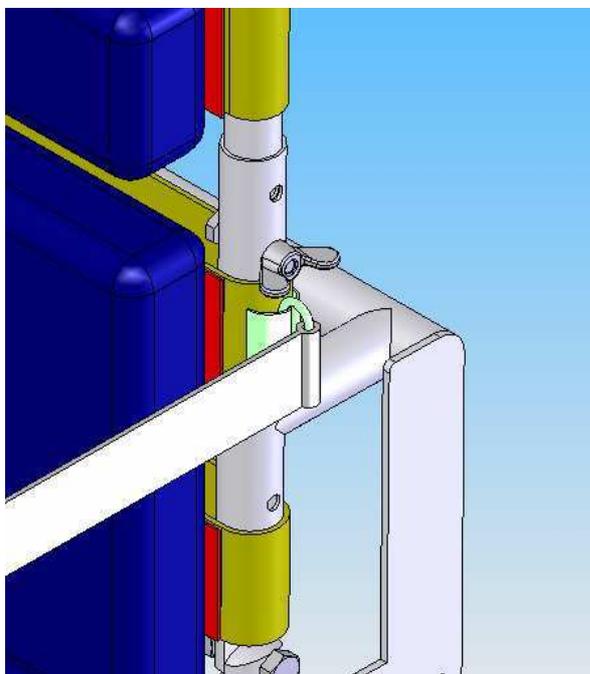


Figura 26: Fixação da cinta de segurança.

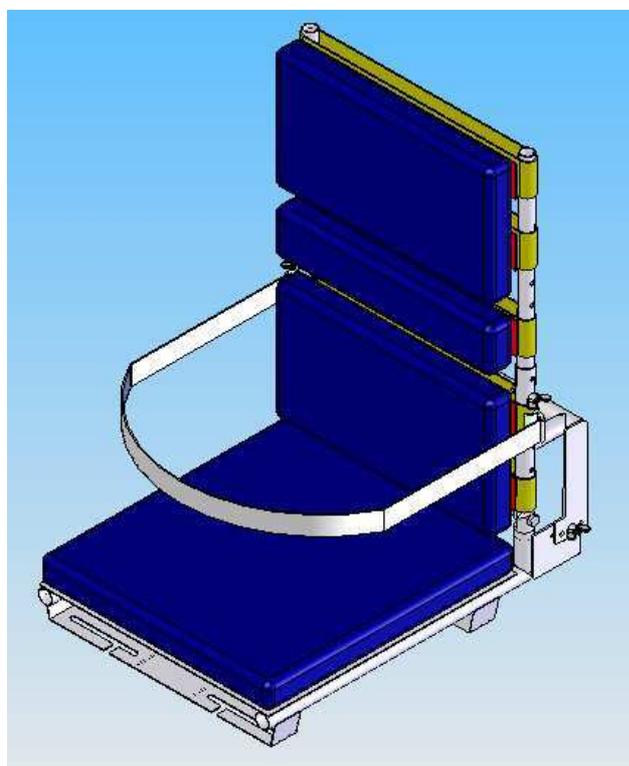


Figura 27: Cadeira com cinta de segurança.

6.8 Fixação da cadeira no remo-ergômetro

Um dos objetivos deste projeto é fazer com que a cadeira desenvolvida também possa ser utilizada no remo-ergômetro, apresentado na figura 28, aparelho que os atletas utilizam para treinar as remadas e ganhar condicionamento físico.



Figura 28: Foto do remo-ergômetro.

Para tanto, foi necessário desenvolver um tipo de grampo para fixar a cadeira junto ao trilho do remo-ergômetro, conforme apresentado na figura 29.

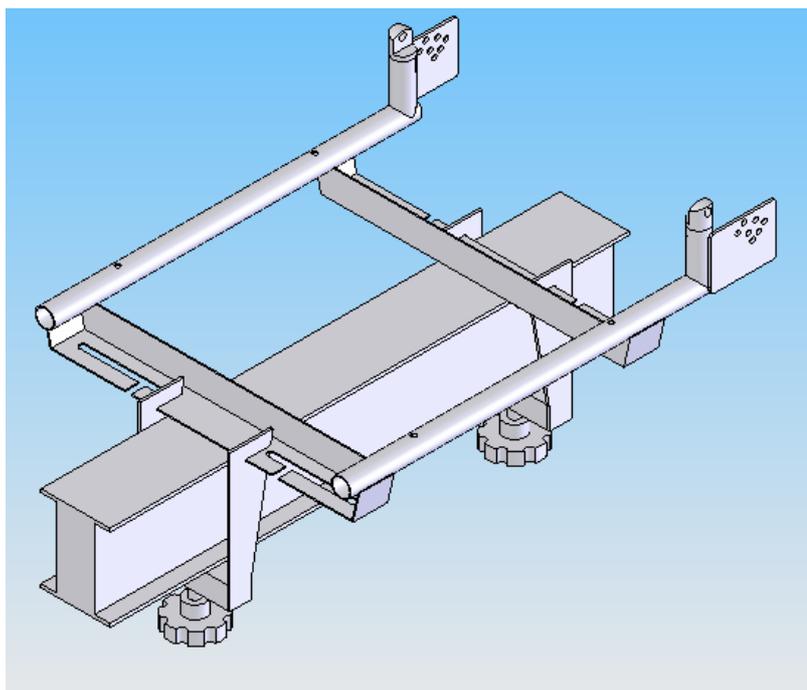


Figura 29: Utilização do grampo para fixação da cadeira ao remo-ergômetro.

Além disso, a cadeira possui quatro ressaltos, que funcionam como guias, conforme apresentado na figura 30. Desse modo, o posicionamento de forma simétrica da cadeira junto ao trilho é garantido.

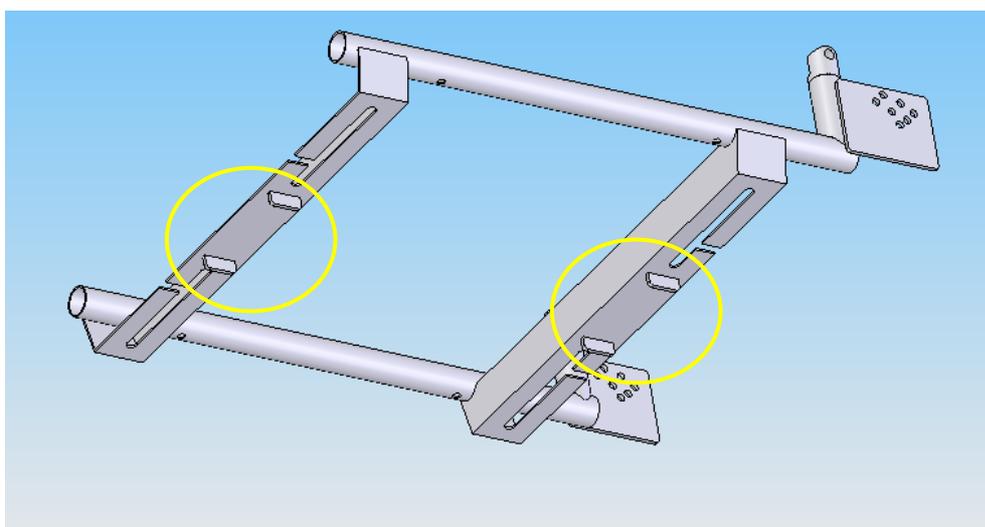


Figura 30: Ressalto da cadeira para posicionamento simétrico junto ao remo-ergômetro.

7. ANÁLISE DO PROJETO E RESULTADOS FINAIS

Nessa seção são apresentadas algumas etapas que foram realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho e os resultados finais.

No início do dimensionamento e projeto, foi construída uma parte da estrutura da cadeira como um protótipo preliminar, conforme apresentado na figura 31. Embora este “pré-protótipo” tenha sido construído em madeira, julgou-se necessário a realização do mesmo para que se pudesse fazer uma análise mais realista do projeto, principalmente ao se referir à regulagem de inclinação juntamente com as barras laterais de travamento (essa regulagem de inclinação não foi utilizada no projeto final).

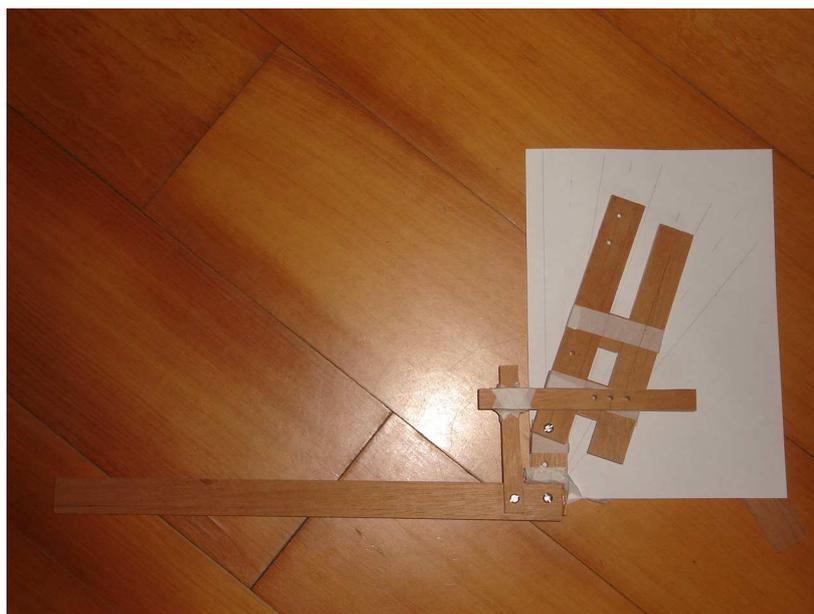


Figura 31: Foto do “pré-protótipo” construído.

Com o fim do dimensionamento e do projeto, desenhos de fabricação foram realizados para que o protótipo fosse construído. Durante a fabricação, foram necessárias algumas mudanças, principalmente para facilitar a construção. Todos os desenhos de fabricação (na versão final) estão apresentados no Anexo A.

Embora a cinta de segurança, o assento e o encosto acolchoado não tenham sido fabricados até o momento por falta de patrocínio, foram realizados alguns testes na Raia Olímpica da USP com o protótipo desenvolvido no projeto tanto na

utilização no remo-ergômetro, quanto no barco de remo. Vale ressaltar que, em algumas fotos apresentadas nesta seção, o protótipo ainda não tinha recebido a pintura de acabamento. Esses testes serviram para verificar como o protótipo atendeu às necessidades exigidas no início do projeto. Infelizmente os testes referentes ao conforto do atleta não puderam ser executados, pois o assento e o encosto acolchoados não foram fabricados.

A fixação no remo-ergômetro foi obtida com sucesso, através das guias e dos grampos, conforme apresentado na figura 32.



Figura 32: Detalhe das guias e dos grampos na fixação da cadeira junto ao remo-ergômetro.

A figura 33 apresenta o conjunto da cadeira junto ao remo-ergômetro.



Figura 33: Cadeira e remo-ergômetro.

A cadeira e os trilhos em U também foram fixados ao barco de remo conforme apresentado na figura 34. Todas as regulagens propostas no projeto foram testadas e aprovadas e estão apresentadas na figura 34 também: regulagem de distância longitudinal e transversal da cadeira junto ao trilho em U; regulagem de inclinação feita por meio da articulação, das chapas e dos parafusos (M6x25) e porcas borboletas; regulagem de altura do encosto, também feita por meio de parafusos (M6x30) e porcas borboletas; e fixação do trilho U ao trilho do barco feita por meio de parafusos (M6x30).



Figura 34: Cadeira fixada no barco.

Uma outra necessidade do projeto era desenvolver uma cadeira que não tivesse uma massa elevada, para não comprometer o rendimento dos atletas durante os treinos e provas. Embora o projeto dessa cadeira tenha sido feito em aço ABNT 1020, a massa final do protótipo não foi muito maior, quando comparada à cadeira disponível no mercado (Wintech) e às outras duas desenvolvidas nos trabalhos anteriores [4] e [7], pois se trabalhou com estruturas esbeltas e coeficientes de segurança não tão elevados (o menor fator de segurança do projeto é de 2,9). Coeficientes de segurança menores dos utilizados poderiam trazer algum tipo de problema, pois não se pode garantir total homogeneidade dos materiais utilizados. A tabela 4 mostra a comparação das massas das cadeiras (com e sem trilho de fixação ao barco). A massa da cadeira desenvolvida neste projeto é de 4,5 kg, mais a massa dos trilhos de 2,3 kg, totalizando 6,8 kg. Conforme apresentado na tabela 4, a cadeira desenvolvida no trabalho [7], sem considerar os trilhos, que também foi fabricada em aço ABNT 1020, possui massa de 11kg. Já a cadeira, juntamente com os trilhos,

desenvolvida no trabalho [4], possui uma massa total de 5,8 kg, pois foi projetada em alumínio; no entanto, esse material não se mostrou muito bom para essa aplicação, pois os furos, por onde são feitas as regulagens, aumentam de tamanho com a repetição das cargas, além de ser um material difícil de ser soldado (o que eleva o custo do processo de fabricação). A cadeira da Wintech (única disponível comercialmente) é a que ainda possui menor massa, mas ela possui alguns inconvenientes, como: componentes caros, como assento feito em fibra de carbono; baixa durabilidade; e falta de flexibilidade de uso em diferentes barcos de remo, já que ela foi projetada para ser utilizada apenas no barco do mesmo fabricante.

Tabela 4: Tabela comparativa com as massas das cadeiras analisadas.

	Massa (kg)	
	Cadeira	Trilho
Cadeira Wintech	4	
Cadeira trabalho [4]	4,3	1,5
Cadeira trabalho [5]	11	
Cadeira projetada	4,5	2,3

As regulagens de inclinação e de altura do encosto também podem ser feitas por meio de parafusos e porcas borboletas, conforme apresentado na figura 35 a), ou com parafusos e cupilhas, mostrado na figura 35 b). Apesar de a cupilha resultar em encaixes e regulagens mais práticas, a fixação com porca borboleta é mais firme e também não exige tanto trabalho. É importante destacar que o sistema de regulagem de inclinação deixa livre toda a região lateral da cadeira, facilitando o acesso dos atletas ao barco além de evitar colisões e pancadas no corpo.

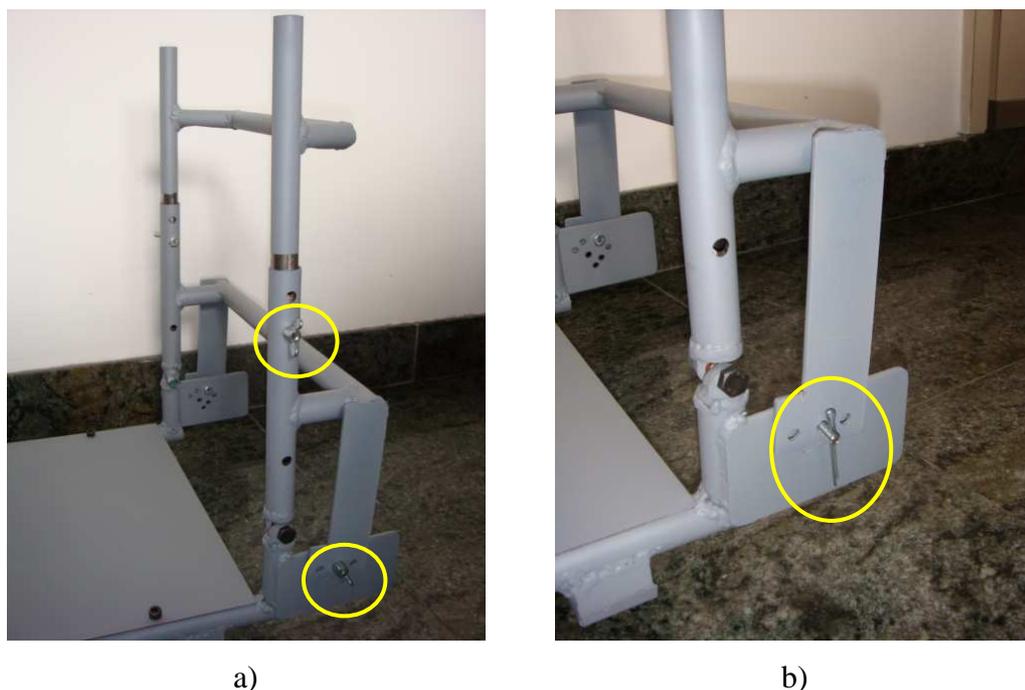


Figura 35: Fixação das regulagens com a)parafuso e porca borboleta e com b)parafusos e cupliha.

Outro ponto importante a ser citado é que os tubos, chapas, peças, parafusos e porcas empregados no trabalho são obtidos comercialmente, sem a necessidade de fabricação especial, o que diminui consideravelmente o custo de fabricação dos componentes. A fabricação do protótipo utilizou basicamente serviços de usinagem (torneamento e fresamento) e soldas.

A realização deste projeto não foi orçada por uma empresa, já que não haveria patrocínio para o desenvolvimento do projeto. Todo esse projeto foi desenvolvido Laboratório de Máquinas Operatrizes do Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos e no Laboratório de Fenômenos de Superfície do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP. Apenas alguns materiais foram comprados. No entanto, pôde-se fazer uma estimativa de quanto esse projeto (cadeira, trilho em U e suportes de fixação) custaria para ser desenvolvido por terceiros, conforme é apresentado na tabela 5. Para tanto, foram feitos orçamentos dos materiais utilizados (chapas, tubos, parafusos e porcas), do trabalho realizado pelo tapeceiro referente à fabricação do assento e encosto acolchoado e estimativa do custo de mão-de-obra para execução do projeto. Para a estimativa da mão-de-obra, considerou-se que um técnico precisaria de uma semana inteira (40 horas de trabalho) para realizar o trabalho, sendo que o salário pago pelo homem-

hora no mercado é de R\$ 8,00. Além disso, foi estimado o custo referente ao uso de ferramentas e maquinário (torno, fresa e solda), já que não foram realizados orçamentos referente a esses custos. Devido à utilização do aço carbono ABNT 1020, que possui fácil usinagem, solda e baixo custo de aquisição, o preço final projeto foi de R\$ 1.280,00, muito inferior do custo do projeto apresentado em [4], de R\$ 3.080,00, e em [7], de R\$ 3.450,00.

Tabela 5: Estimativas de custos referente à execução deste projeto.

Custos	R\$
Materiais	160,00
Serviços do tapeceiro	300,00
Mão-de-obra	320,00
Custo de maquinário	500,00
Total	1280,00

A figura 36 apresenta o protótipo final, já pintado, com todos os acessórios (cadeira, trilho em U e grampos de fixação), exceto a cinta de segurança, o assento e encosto acolchoados.



Figura 36: Protótipo final.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÃO DE MELHORIAS

Diante de tudo que foi exposto neste trabalho, fica evidente que o resultado alcançado foi satisfatório, pois a cadeira pode ser utilizada por atletas que competem nas classes **LA** e **A** (classe que exige maior adaptação) tanto no barco como no remoergômetro. As regulagens de altura (que podem variar da configuração sem encosto até 585 mm), de inclinação do encosto (que podem variar de -5° até 26° , sem que o espaço lateral da cadeira fosse utilizado, resultando em maior área livre para entrada e saída do barco) e de distância longitudinal e transversal do assento (para garantir conforto para as pernas dos atletas e intercambialidade entre barcos) também foram contempladas neste projeto. Apenas o conforto da cadeira não pôde ser avaliado, uma vez que o assento e o encosto estofado não foram fabricados. No entanto, acredita-se que se a recomendação para confecção do assento e do encosto acolchoado proposta neste trabalho for seguida, o quesito conforto também obterá um bom resultado. Desse modo, todos os pontos abordados asseguraram conforto, segurança e bom desempenho aos atletas.

Apesar de não terem sido feitos orçamentos de todas as etapas e componentes do protótipo projetado neste trabalho, foi possível estimar o custo do projeto em R\$ 1.280,00, muito inferior do custo do projeto apresentado em [4], de R\$ 3.080,00, e em [7], de R\$ 3.450,00. Essa redução de custo deveu-se principalmente devido à utilização do aço carbono ABNT 1020, que possui fácil usinagem, solda e baixo custo de aquisição.

Ao se analisar a tabela 4, fica evidente que o quesito referente à massa do protótipo foi alcançado com êxito, pois a cadeira desenvolvida no presente trabalho possui uma massa total (já incluindo os trilhos) de 6,8 kg, mesmo sendo fabricada em aço ABNT 1020.

Como sugestão de melhoria para redução da massa do presente trabalho, acredita-se que a substituição da chapa de aço do assento por uma de madeira, pode reduzir a massa desse componente em até 40%. Além disso, o dois trilhos em U desenvolvidos neste projeto não precisam ser tão longos, como foram projetados, pois os atletas não usam toda essa extensão para regular a distância da cadeira longitudinalmente. Sugere-se uma redução de até 200 mm de comprimento de cada

um dos trilhos, o que diminuirá a massa do mesmo em 25%. Assim, com a adoção dessas melhorias, acredita-se que a massa final da cadeira juntamente com os trilhos possa chegar a aproximadamente 6 kg.

Para tornar as regulagens mais práticas, foi proposta a utilização de pinos e cupilhas. No entanto, verificou-se que esta sugestão não se tornou muito efetiva, já que a utilização de porcas borboletas e parafusos resulta em regulagens mais firmes e precisas, sem diminuir a praticidade dos ajustes.

Vale destacar também que a estrutura desenvolvida ficou muito próxima do assoalho de barco, o que não elevou muito o centro de gravidade do sistema (barco e atleta). O aumento do centro de gravidade resultaria em maior instabilidade durante a prática do esporte.

Outra sugestão de melhoria seria a de usar chapas um pouco mais espessas para construção da estrutura do assento (região responsável pela regulagem transversal e longitudinal do assento junto ao trilho em U). Sugere-se a utilização de chapas de 3 mm, em substituição à chapa de 1,5 mm, para garantir maior robustez ao sistema.

Além disso, é necessário exigir um bom acabamento nas peças fabricadas e nas soldas executadas, para evitar a formação de “cantos vivos” das peças metálicas, os quais podem resultar em arranhões e pequenos cortes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Sadefrn. Disponível em: http://www.sadefrn.org.br/deficiencia_fisica/. Acesso em 30/01/08.

[2] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 30/01/08.

[3] SEPED - Secretaria da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida - Prefeitura de São Paulo. Disponível em: http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/deficiencia_mobilidade_reduzida/programas/paradesporto/0001. Acesso em 30/01/08.

[4] POLETTTO, Gustavo de Andrade. **Projeto e construção de uma cadeira fixa para remo adaptável**. 2007. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

[5] SEPED - Secretaria da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida - Prefeitura de São Paulo. Disponível em: http://portal.prefeitura.sp.gov.br/noticias/sec/deficiencia_mobilidade_reduzida/2007/03/0001. Acesso em 24/12/2007.

[6] CBR – Confederação Brasileira de Remo. Disponível em: www.cbr-remo.com.br. Acesso em 30/01/08.

[7] NAKATU, Laurence Vinícius; TSUKAMOTO, Rubens Kasuto. **Cadeira para remo adaptado: remo adaptável**. 2007. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

[8] GERE, James M. **Mecânica dos Materiais**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

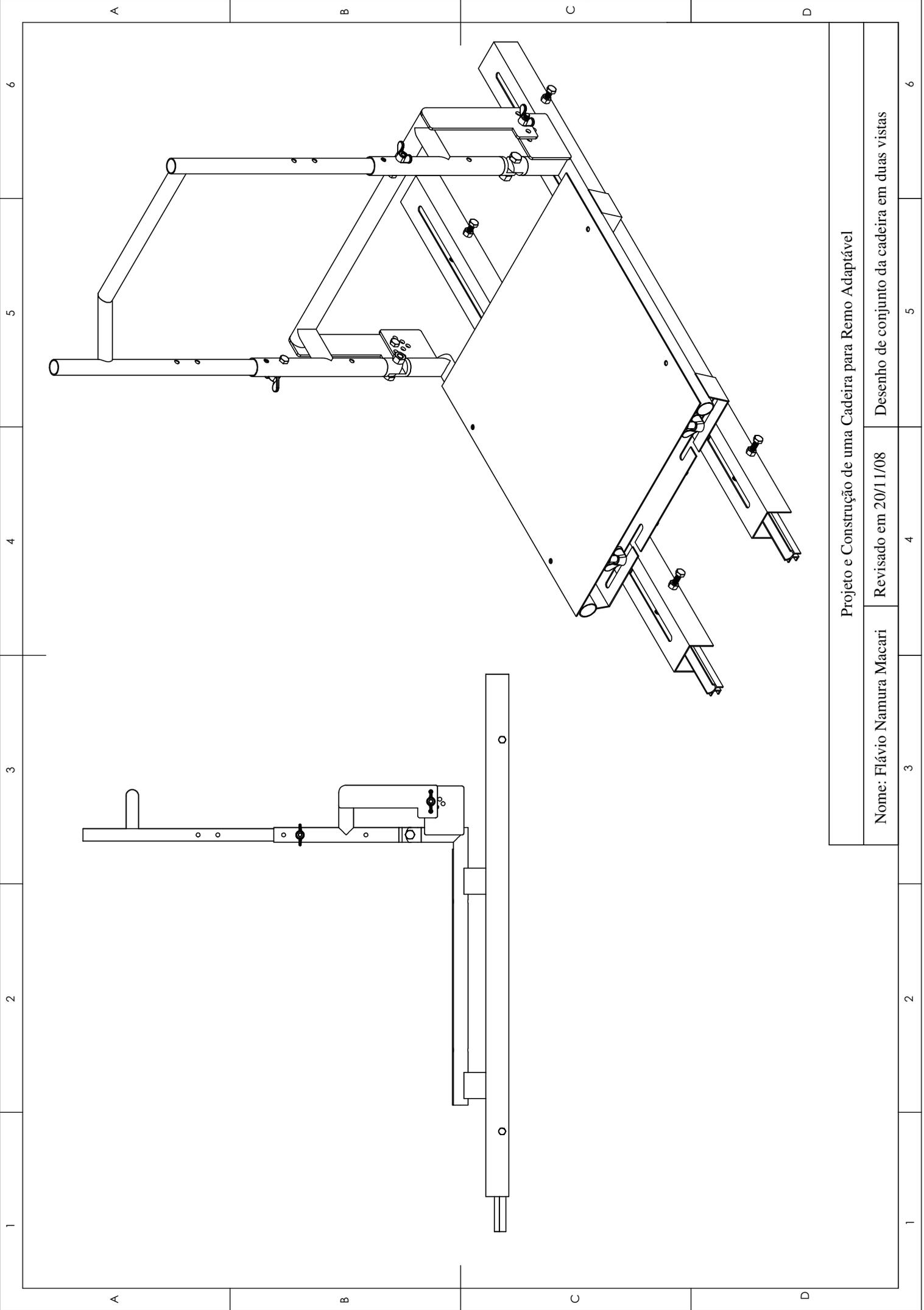
[9] NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2000.

[10] TIMONSHENCO, S. P.; GERE, J. M. **Theory of Elastic Stability**. Editora McGraw-Hill, 1961.

[11] Casa Ortopédica. Disponível em:
http://www.casaortopedica.com.br/catalogo/loja_tipo2.php?cat_id=46&pro_id=495 .
Acesso em 16/03/08.

[12] Medical Show Room. Disponível em:
<http://www.medicalshowroom.com.br/cadeiras.html>. Acesso em 16/03/08.

ANEXO A



Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Revisado em 20/1/08

Nome: Flávio Namura Macari

Desenho de conjunto da cadeira em duas vistas

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

1

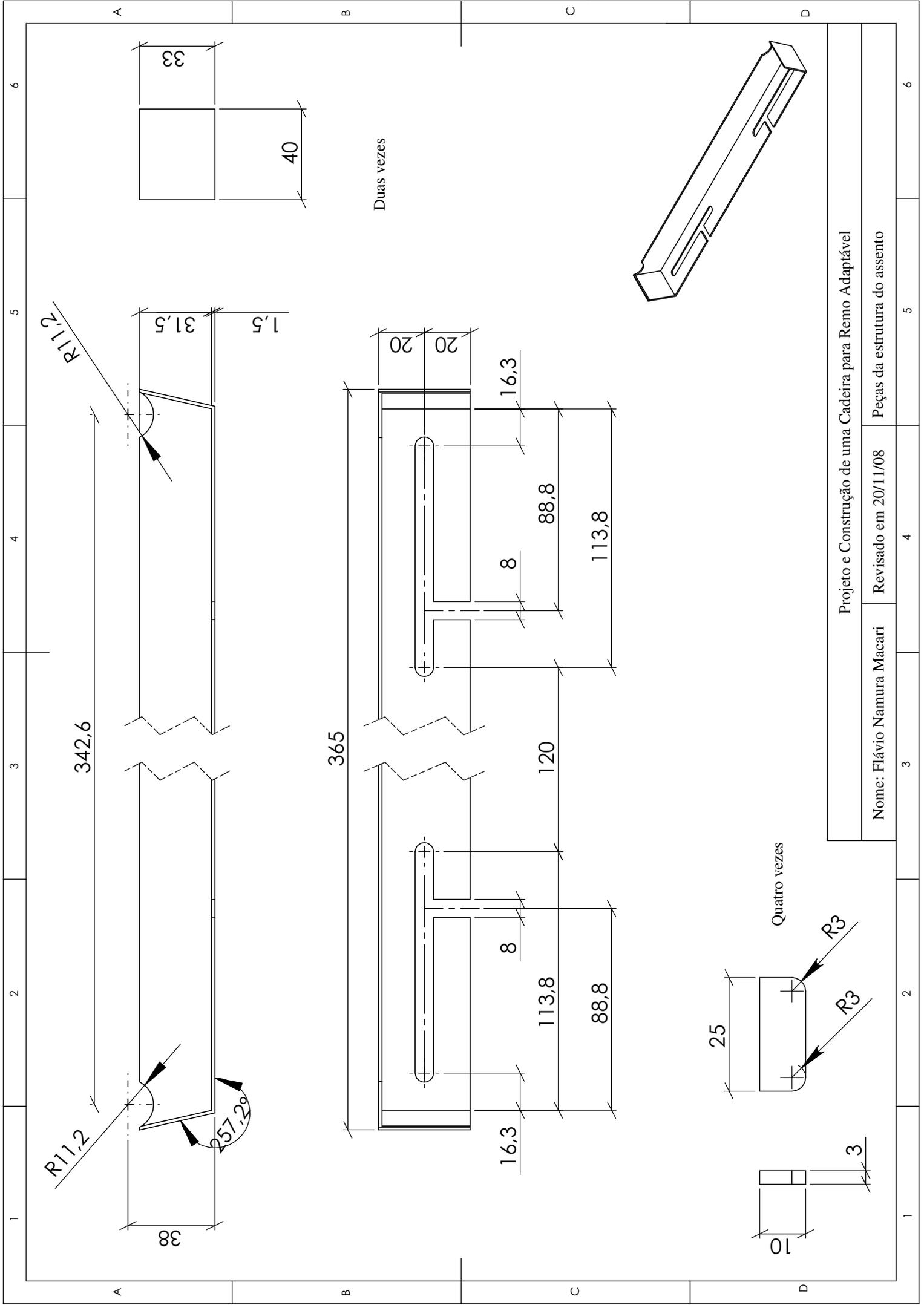
2

3

4

5

6

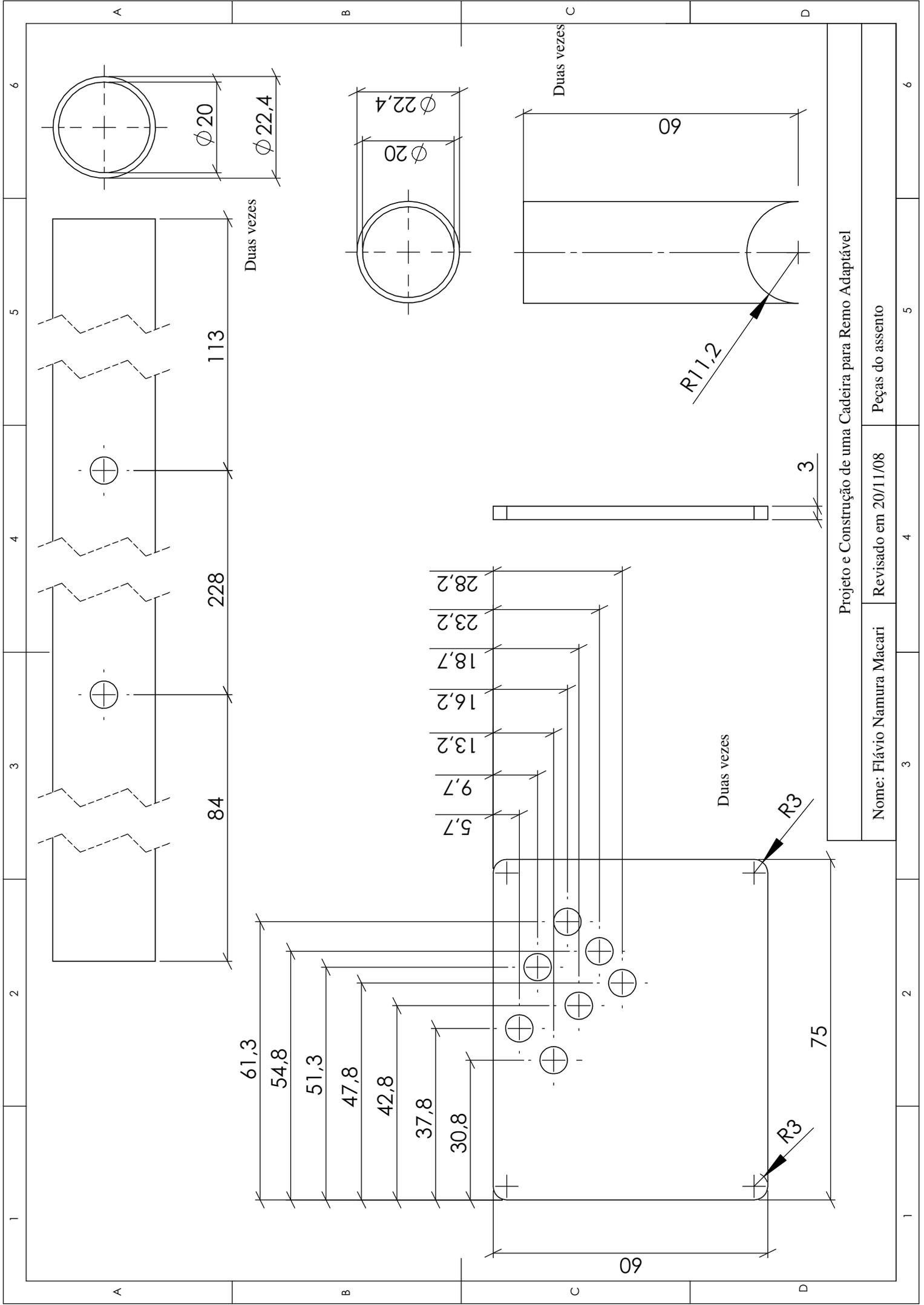


Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Peças da estrutura do assento

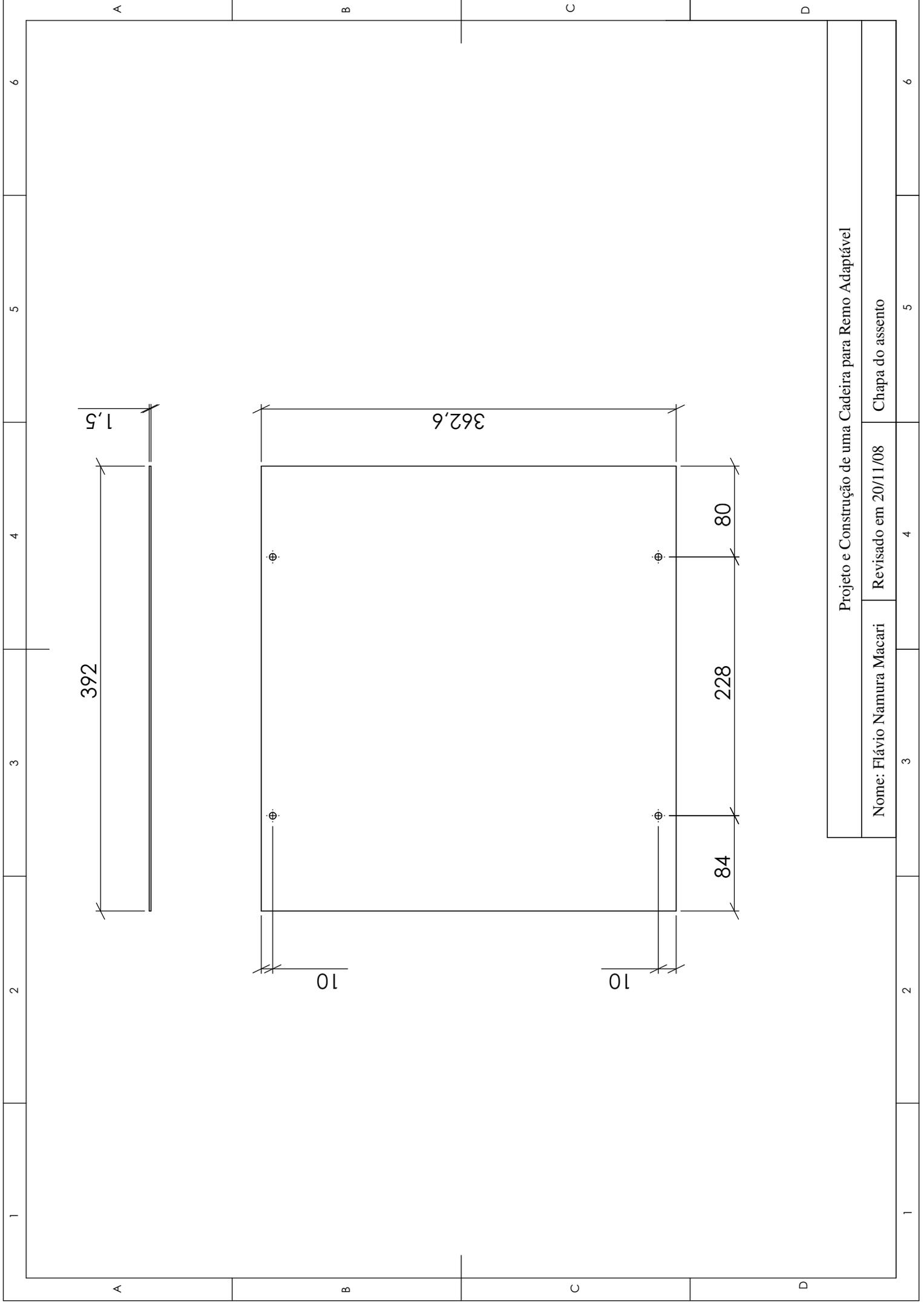


Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Peças do assento



Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Chapa do assento

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

1

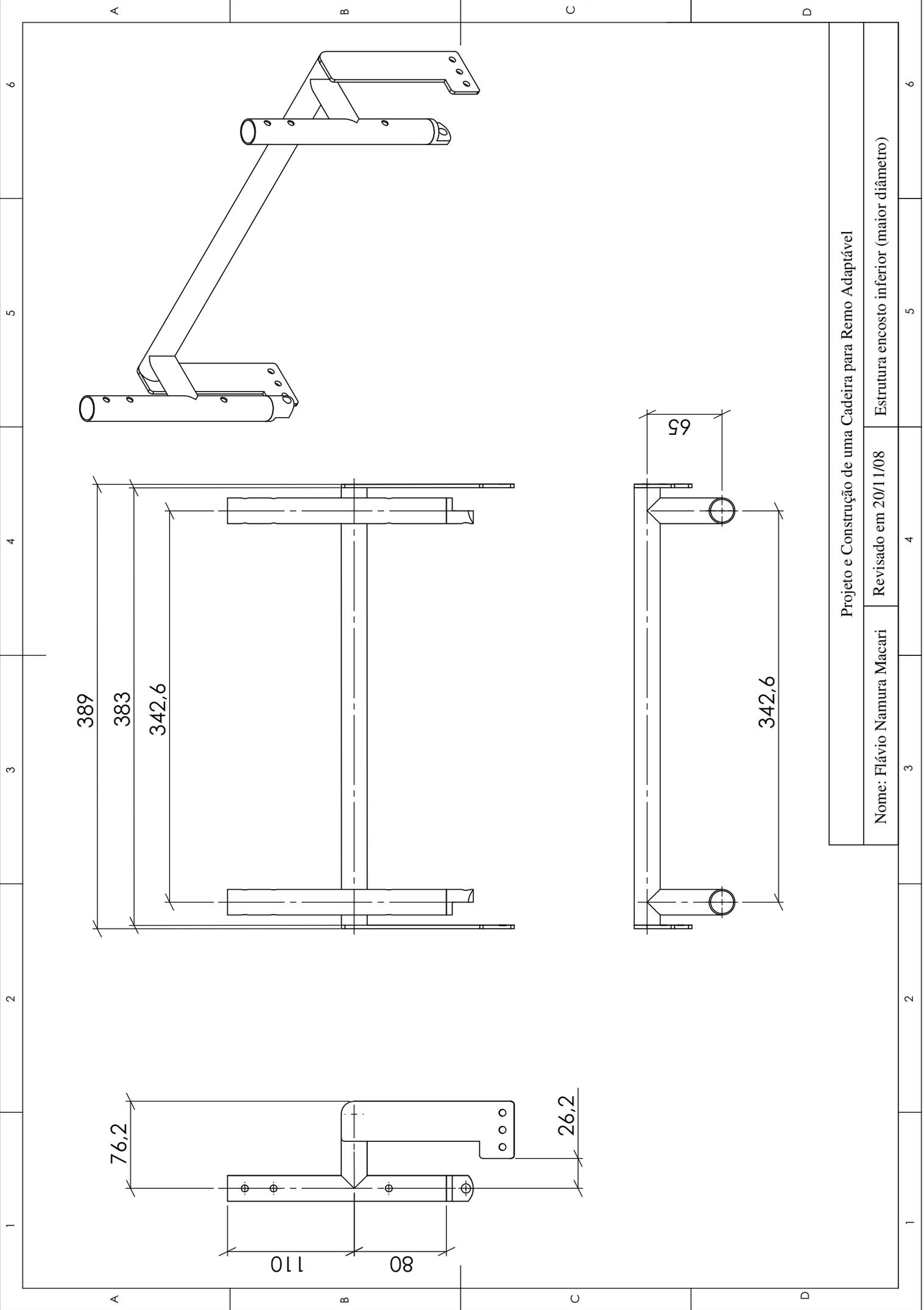
2

3

4

5

6



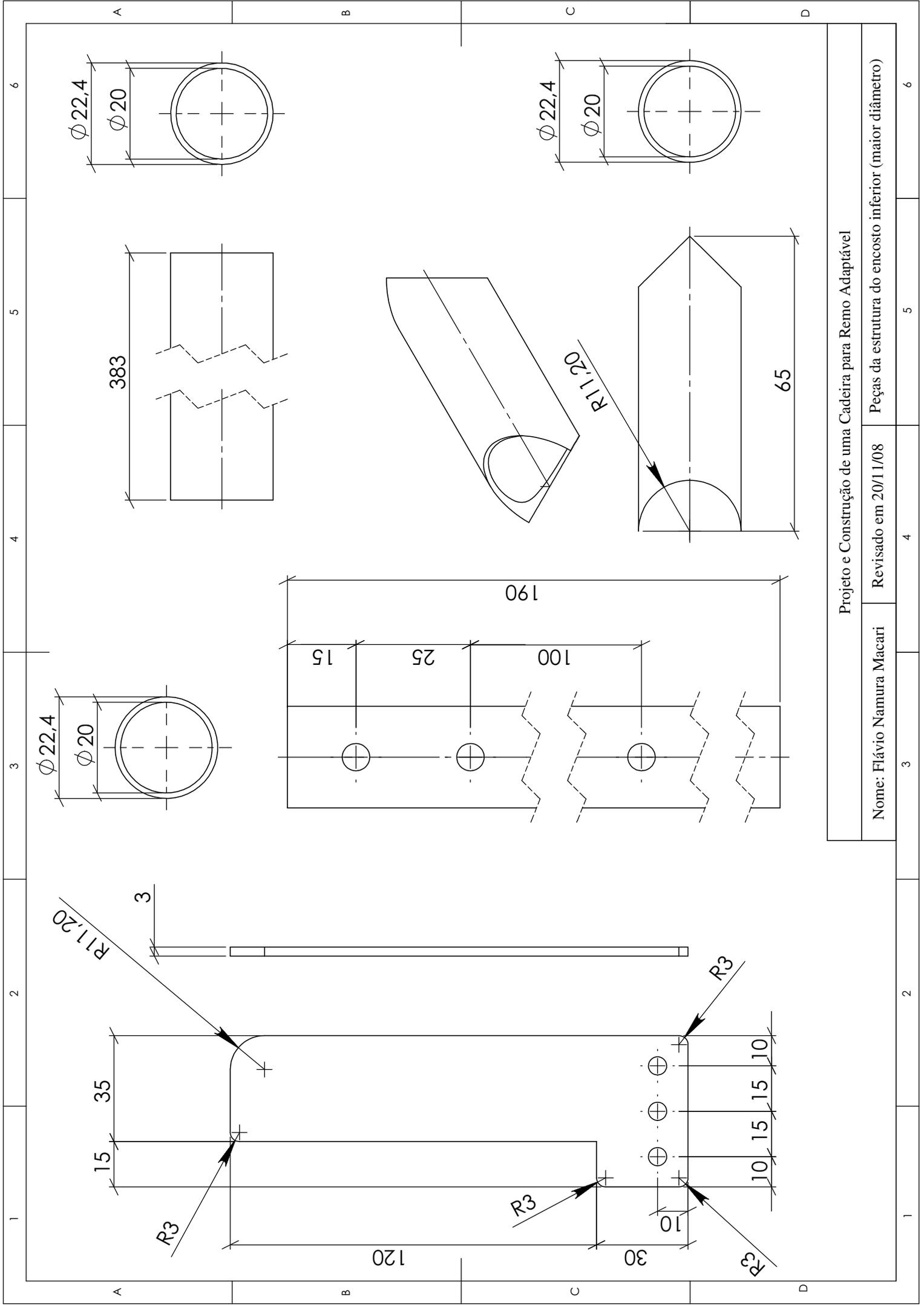
Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Estrutura encosto inferior (maior diâmetro)





Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Peças da estrutura do encosto inferior (maior diâmetro)

6

5

4

3

2

1

6

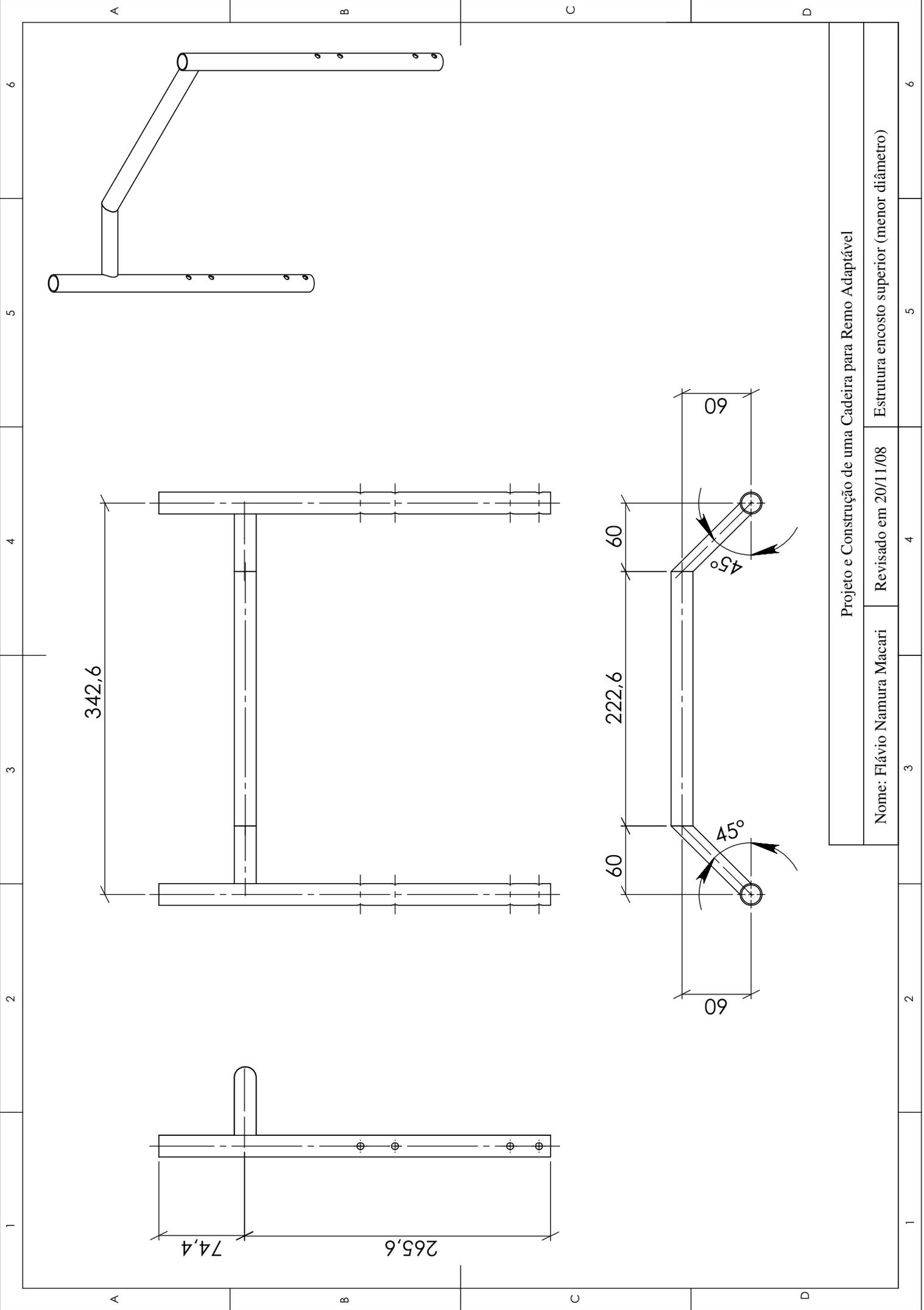
5

4

3

2

1



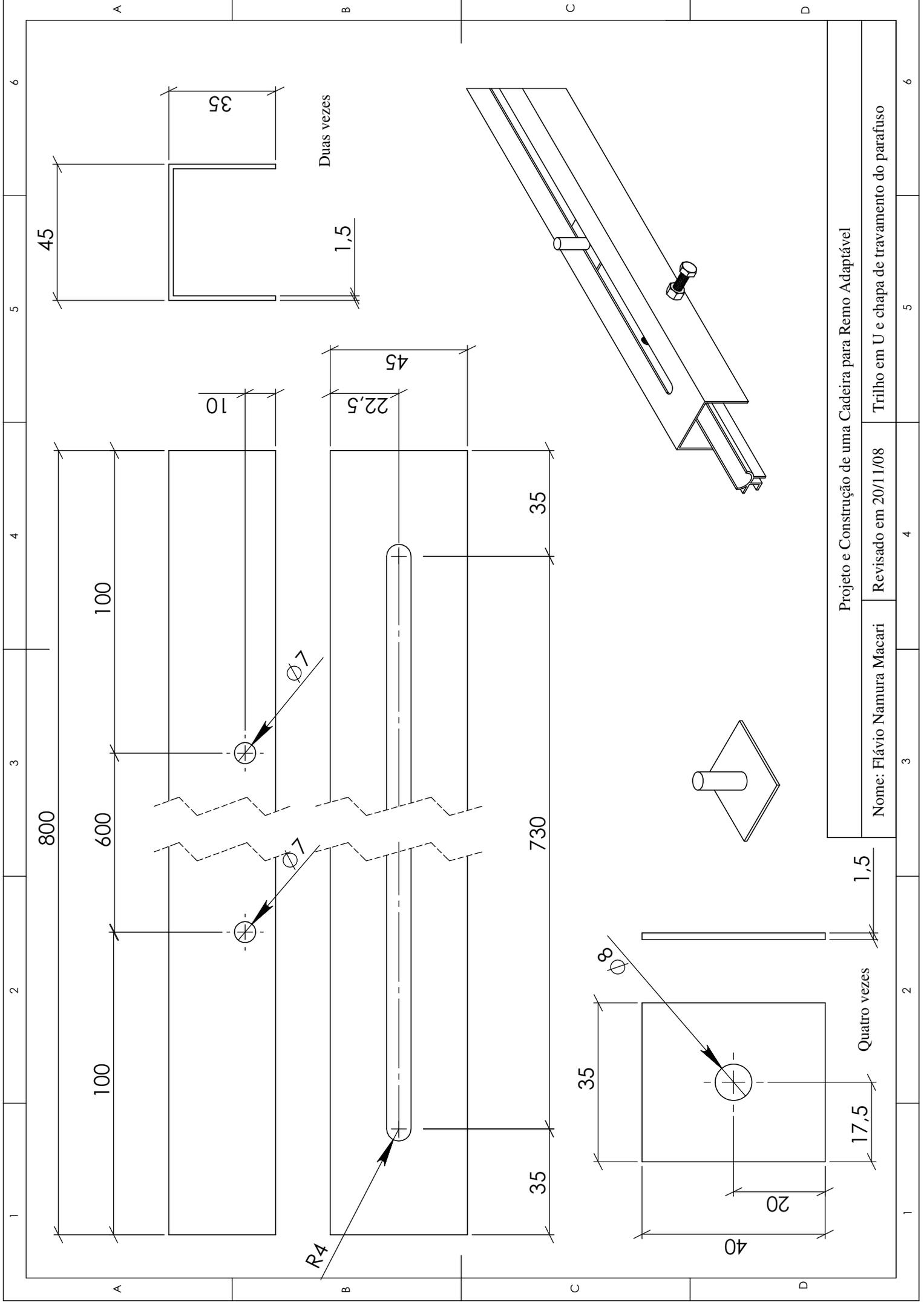
Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Estrutura encosto superior (menor diâmetro)

1	2	3	4	5	6
A	B	C	D		

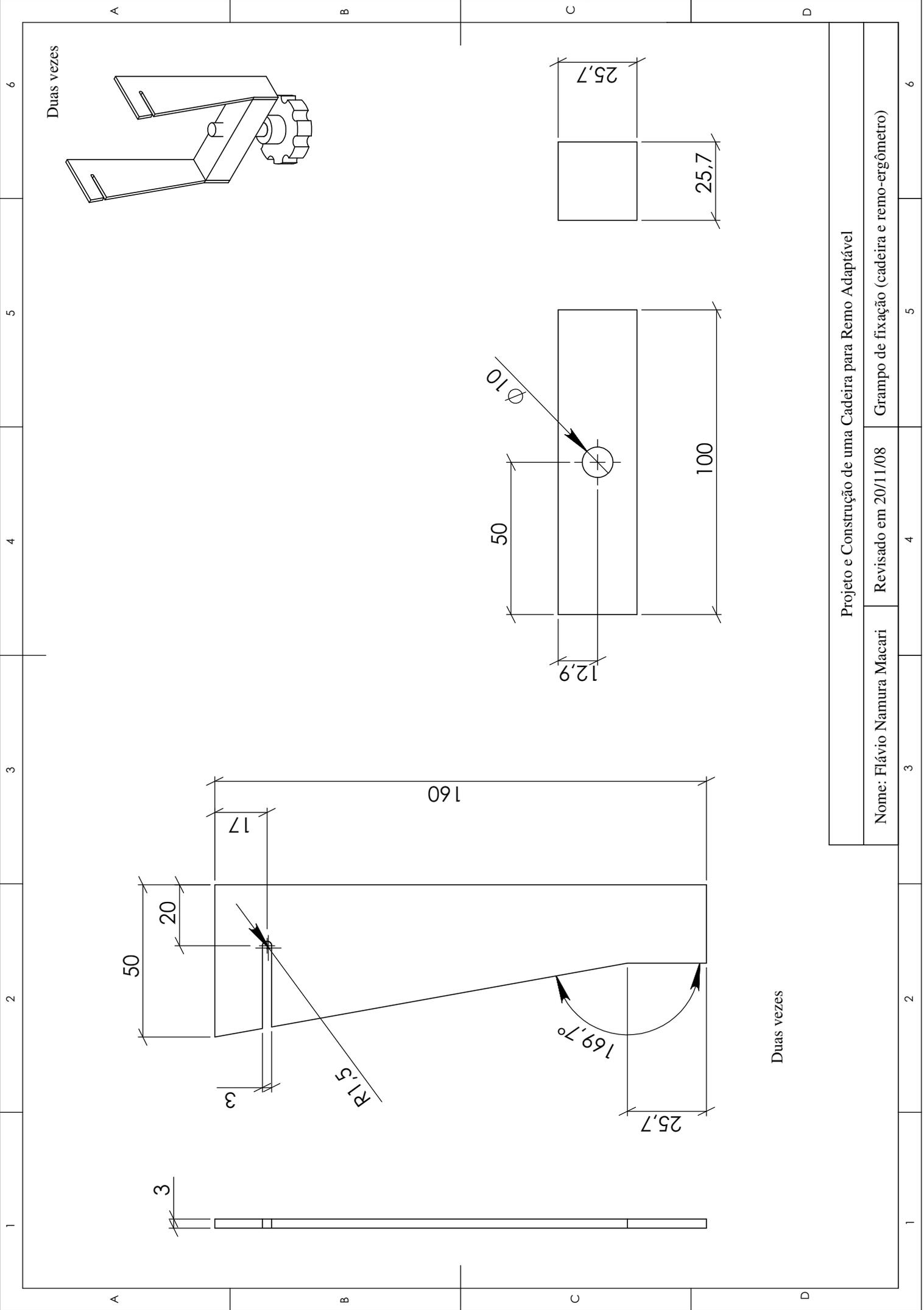


Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Revisado em 20/11/08

Nome: Flávio Namura Macari

Tribo em U e chapa de travamento do parafuso



Duas vezes

Duas vezes

Projeto e Construção de uma Cadeira para Remo Adaptável

Nome: Flávio Namura Macari

Revisado em 20/11/08

Grupo de fixação (cadeira e remo-ergômetro)

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D